CENTRE INTERNATIONAL DE SYNTHÈSE
FONDATEUR-DIRECTEUR : HENRI BERR

REVUE D'HISTOIRE DES SCIENCES ET DE LEURS APPLICATIONS

ORGANE DE LA SECTION D'HISTOIRE DES SCIENCES
Fondateur : PIERRE BRUNET

REVUE PUBLIÉE AVEC LE CONCOURS
DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Tome V - N° 2 **Avril-Juin 1952**

SOMMAIRE

(voir au dos)



PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

PUBLICATION TRIMESTRIELLE

CENTRE INTERNATIONAL DE SYNTHÈSE
Fondateur-Directeur : Henri BERR

REVUE D'HISTOIRE DES SCIENCES
ET DE LEURS APPLICATIONS

PARAISSANT TOUS LES TROIS MOIS

Organe de la Section d'Histoire des Sciences
Fondateur : Pierre BRUNET

Rédaction : Suzanne DELORME, René TATON
Centre International de Synthèse (Section d'Histoire des Sciences)
12, rue Colbert, Paris (2e)

Administration : **Presses Universitaires de France**
108, boulevard Saint-Germain, Paris (6e)

Abonnements : **Presses Universitaires de France**
1, place Paul-Painlevé, Paris (5e)

Année 1952 (4 numéros) : France, Union française, **1.000** francs. Étranger, **1.200** francs
Prix du numéro : **320** francs
Compte Chèques Postaux : Paris 392-33

AVIS IMPORTANT. — *Les demandes en duplicata des numéros non arrivés à destination ne pourront être admises que dans les quinze jours qui suivront la réception du numéro suivant.*

Il ne sera tenu compte d'une demande de changement d'adresse que si elle est accompagnée de la somme de vingt francs.

Suite du Sommaire :

Dans chaque numéro :

Articles originaux ; Documentation et Informations ; Analyses d'ouvrages.

La Revue publiera dans ses prochains numéros des articles de
MM. P. BRUNET, Dr A. DELAUNAY, Dr DULIEU, J. E. HOFMANN, P.-M. SCHUHL, R. TRESSE, E. WICKERSHEIMER, etc.

La mécanique céleste de J. A. Borelli

I

Jean Alphonse Borelli est connu aujourd'hui surtout comme l'auteur (posthume) du *De motu animalium* (1). Cela se comprend, car c'est là une œuvre d'une importance capitale, dans laquelle, pour la première fois dans l'histoire, le mouvement des êtres vivants est interprété d'un point de vue strictement mécanique, et dans laquelle l'appareil locomoteur des animaux — ou, du moins, des vertébrés, car c'est de ceux-ci seulement que s'occupe Borelli — est compris comme un assemblage de bielles et de leviers.

En revanche, ses œuvres mathématiques (2), physiques (3), astronomiques (4) sont beaucoup moins connues. Elles sont, d'ailleurs, beaucoup moins importantes : tout en étant un savant honnête et sérieux, qui dans tous les domaines auxquels il a touché a apporté quelque chose de nouveau, Borelli n'est certainement pas un très grand génie. Aussi ses travaux sont-ils habituellement mentionnés, avec éloge, par les historiens de la physique et de l'astronomie, mais ils ne sont que très peu lus (5). Ce qui, au fond, n'est pas étonnant : Borelli écrit atrocement mal et ses phrases interminables en pâte de guimauve sont faites pour décourager le lecteur le plus bienveillant (6).

Je crois néanmoins, ainsi que j'ai eu l'occasion de le dire dans

(1) J. A. Borellus, *De motu animalium*, 2 vol., Romae, 1680 et Lugduni Batavorum, 1685.

(2) *Euclides restitutus*, et *Apolonii elementa conica et Archimedis opera breviori methodo demonstrata*, Pisis, 1658.

(3) *De Vi percussionis*, Bononiae, 1670 ; *De motionibus naturalibus a gravitate pendentibus*, Bononiae, 1670, 2e éd., Lugduni Batavorum, 1676.

(4) *Theorica medicearum planetarum a causis physicis deducta*, Florentiae, 1666.

(5) De ce fait on lui attribue parfois des idées, par exemple, celle de l'attraction gravifique, que non seulement il n'a jamais enseignées, mais encore qu'il a toujours combattues. Signalons toutefois, comme exception à la règle, l'article récent de M. Angus Armitoge, « Borell's Hypothesis » dans *Annals of Science*, 1950, pp. 268 sq.

(6) Le lecteur en jugera par les exemples que je donne plus bas.

une communication au VIe Congrès d'Histoire des Sciences, dans laquelle j'ai esquissé l'histoire de la découverte de la loi de la gravitation universelle (1), que l'étude de l'œuvre cosmologique de Borelli présente, pour l'historien de la pensée scientifique, un grand, et même un très grand intérêt.

Ceci non seulement parce qu'il a, très certainement, influencé Robert Hooke, et que Newton lui a fait l'insigne honneur de le citer parmi ses prédécesseurs (2), mais aussi pour un certain nombre de raisons que je vais énumérer brièvement : c'est dans cette œuvre-là que nous trouvons le témoignage le plus net de l'influence de Kepler sur l'école italienne (et de la réaction de cette dernière contre certaines idées fondamentales de Kepler) ; c'est là aussi que nous trouvons accomplie — d'une manière imparfaite, sans doute, mais *en tenant compte des faits* (3) — cette identification de la physique céleste et de la physique terrestre qui a été le rêve de la science moderne ; c'est là encore que nous trouvons une conception, extrêmement intéressante, sur les rapports de l'expérience (ou de l'observation) et de la théorie dans la science ; une conception d'autant plus intéressante qu'elle émane d'un des membres les plus actifs et les plus influents de la célèbre *Accademia del Cimento*, qui fut, on le sait bien, la première école — ou centre d'études — des méthodes expérimentales en Europe. Enfin, *last not least*, l'œuvre de Borelli nous montre d'une manière frappante, comment une exigence trop grande de pureté (de clarté) intellectuelle peut conduire à l'échec, et le renoncement prudent à la théorie, à l'impasse.

J. A. Borelli n'a pas écrit un *Systema Mundi* ou une *Physica coelestis*. Ses idées cosmologiques sont exposées par lui en quelque sorte de biais, à l'occasion d'une étude sur les « planètes médicéennes » (les satellites de Jupiter). Celles-ci furent notamment longuement observées par lui — et d'autres — à Florence, par suite de l'acquisition par le Grand Duc Ferdinand II de Toscane d'un télescope « de dimensions énormes et d'une perfection admi-

(1) Cf. « La gravitation universelle, de Kepler à Newton », *Archives d'histoire des Sciences*, 1951, pp. 638 sq.

(2) Cf. W. W. Rouse Ball, *An essay on Newton's Principia*, London, 1893, p. 159, Lettre de Newton à Halley du 20 juin 1686 : « Borell did something in it and wrote modestly ».

(3) Je veux dire : en tenant compte de la réalité céleste telle qu'elle s'exprime dans les lois de Kepler, auxquelles ni Galilée, ni Descartes, n'ont prêté la moindre attention.

rable » (1). On observe aussi Saturne, dont Huygens venait de découvrir un satellite. Petit à petit, nous dit Borelli, la théorie des mouvements des satellites de Jupiter prit forme et le Grand Duc — qui avait pris une part active aux observations — ainsi que ses amis, lui conseillèrent de la publier. Telle est, selon Borelli, l'origine de sa *Theorica medicearum planetarum*.

Tout cela est fort possible, et même assez plausible. Les observations qui donnent *occasionem scribendi*, le désir de flatter le Grand Duc (2) qui détermine le sujet de l'ouvrage, dédié, bien entendu, au Grand Duc lui-même. Il n'y a aucune raison de douter de tout cela. Pourtant la structure de l'œuvre, ainsi que le remarque très justement E. Goldbeck dans son excellente, et trop peu connue, étude sur Borelli (3), ne s'en trouve pas entièrement expliquée. Il y a autre chose, et nous y reviendrons tout à l'heure.

Dans la préface de son livre Borelli nous raconte brièvement l'histoire de la découverte des planètes médicéennes par Galilée. Galilée a découvert que 4 planètes (ou plus exactement 4 lunes) tournent autour de Jupiter, exactement comme notre Lune tourne autour de la Terre (4). Il y a constaté les phases que nous constatons

(1) J. A. Borelli, *Theorica medicearum planetarum...*, *Ad Lectorem* (pp. vi sq.) : « Scito igitur aestate huius anni telescopium ingens ac mirae perfectionis industrij, ac solertissimi Josephi Cãpani Serenissimo Magno Duci Haetruriae missum fuisse, hoc admirabili instrumento primo Saturnum, postea Jovem, observare cœpimus, tunc iussu suae Celsitudinis ex tabulis Galilaei aephemerides Mediceorum calculis deduxi, ut quotidie vespertinis horis praedicto telescopio situs eorundem precogniti observarentur, interim quamplurima de motibus, positionibusque Mediceorum disserebantur, unde accidit, ut me non advertentem, et reluctantem, in ejus modi speculationibus implicuerim, ac paulatim, ut fit, una speculatione reliquam sibi connexam trahente, factum est, ut hoc opusculum è manibus exciderit, quodcum ostendissem Serenissimo, Sapientissimoque Principi Leopoldo, eiusque acerrimo indicio submisissem, censuit ipse, pariterque alij amici, ut quam primum ederetur, indeque post meum a Florentiae discessum amici excudendum curarunt. »

(2) Cf. *ibid.*, p. iii : « Non dissimile templum magnus ille Galileus preclara sua et admirabili doctrina edidit, et regali, ac glorioso nomini Mediceo, non in hisce infimis, ac terrenis regionibus, sed in Supremo ipso Caelo, ac Joviali solio è fundamentis erexit, atque tuae gloriosissimae prosapiae dicavit, gloriamque, et nomen amplissimum in illa serena, ac beata regione perpetuo duraturum facnauit... »

(3) Ernst Goldbeck, *Die Gravitationshypothese bei Galilei und Borelli*, Wissenschaftliche Beilage zum Jahresbericht des Luisenstadtischen Gymnasiums zu Berlin, Ostern, 1897 ; Berlin, 1897.

(4) *Proemium*, pp. 1 sq. Ces textes me paraissent tellement importants que je les citerai dans l'original : « Primus omnium in suo nuncio sydereo doctissimus Galileus divulgavit, quattuor planetas circa Jovem in orbe agi, quos ipse Medicea sydera nuncupavit, qui non secus, ac Luna Terram, Jovis corpus circumeunt, cuius respectu phases omnes, quas nobis Luna exhibet, representant, plenas scilicet, silentes, falcatas dico-

à la nôtre : pleine lune, croissant, nouvelle lune, occultation. Il a déterminé leur ordre de succession, la dimension de leurs orbites, leurs temps de révolution. Mais il n'a pas pu observer les nombreuses anomalies qui doivent se trouver dans leurs mouvements, comme il s'en trouve dans celui de toutes les autres planètes et dont, de ce fait, il avait admis l'existence. Depuis lors, on s'est beaucoup occupé des planètes médicéennes (entre autres Borelli lui-même), et pourtant, malgré le perfectionnement des instruments d'observation, on n'est pas plus avancé.

Ce pourquoi Borelli se décide à renverser le *modus procedendi*, et puisque les observations ne nous mènent pas au but désiré, à attaquer le problème par la voie théorique, à savoir, en développant tout d'abord, et *a priori*, une théorie des mouvements planétaires des planètes proprement dites ainsi que de leurs satellites ou lunes — à partir de certaines données ou nécessités physiques, dont il va déduire les conséquences nécessaires. Ces conséquences, on les confrontera avec les données empiriques, celles de l'observation, tâche qui sera grandement facilitée par le fait que, procédant aux observations *après*, et non *avant* l'élaboration théorique, on saura ce qu'il faut observer et chercher. Et le sachant, on pourra facilement le trouver.

L'entreprise borellienne, celle d'une astronomie *a priori*, peut paraître absurde, ou du moins exagérément ambitieuse. Aussi démesurément ambitieuse que le projet cartésien de déduire, *a priori*,

tomas, gibbas, una cum suis omnibus mirandis ecclipsium phaenomenis, quae Lunae ipsi contingunt respectu nostri : Ordinem quoque, ac magnitudinem orbium ipsorum planetarum eorumque revolutiones ac revolutionum periodos adinvenit; verum licet sagacissimum illud ingenium agnovisset in praedictis parvis planetis, varias illas atque multiplices anomalias esse debere quae in alijs etiam errantibus syderibus observantur, brevi tamen suae vitae tempore eas invenire non potuit ; At postquam ille fato concessit, quamvis multi in hoc insudarint, nunquam tamen ne minimam quidem notitiam acquirere potuerunt praeter illam quam nobis ipsemet tradidit Galileus. Cumque mihi tam sane ardua, ac perdifficilis, quam longa ac laboriosa praedictarum eccentricitatum, ac periodorum videatur inquisitio, contemplatricem partem sum aggressus, animadvertens, non paucos existisse, qui cum multum circa eiusmodi materiam studij ac operae contulissent, nedum aliquid noui non indagarunt, verum quid ipsi etiam exquirere debuissent ignoraverunt, quod a ianua profecto aberrare, est, uti aegregie Aristoteles asserebat ; si ego itaque praedicta mediceorum planetarum admiranda phaenomena non reperi, non inutile tamen, ac periucundum futurum existimavi, si iter alijs ostenderem recte circa haec phaenomena meditandi, patefaciendo scilicet quos habituri sunt motus, et habitudines satellites Jouis dummodo circa ipsos sit eodem modo philosophandum quo natura in alijs Stellis erraticis operatur ; tales autem motus relationes ac habitudines physicis necessitatibus arguendas duxi, à quibus tales effectus verosimiliter pendent ; tandem que ostendi modos varios, ac artificia quibus varietates praedicta reperiantur. »

la position des fixes dans le ciel. En fait, il n'en est rien, et un changement de termes nous fera comprendre immédiatement le sens du projet borellien. Ce que Borelli veut faire, c'est développer une astronomie théorique ou, si l'on préfère, une mécanique céleste rationnelle, comme base de l'astronomie d'observation. Ce qui non seulement est parfaitement raisonnable, mais encore tout à fait conforme à l'enseignement et à l'esprit du grand Galilée, dont Borelli se montre, dans son entreprise, disciple conscient et intelligent (1).

Dans la science galiléenne, science expérimentale et non expérientielle, la théorie précède et guide l'expérience *(experimentum)* qui la confirme (ou l'infirme) et lui fournit les données concrètes propres aux cas étudiés. Mais c'est la théorie qui constitue la science et, de même que Galilée, dans le cas célèbre du boulet tombant du haut du mât du navire en mouvement, avait pu proclamer qu'il était un si bon physicien que, sans expérience aucune, il pouvait, *a priori*, prédire le comportement du boulet, Borelli aurait pu dire qu'il était un si bon astronome que, sans observer les mouvements des planètes, il pouvait prédire, *a priori*, la structure générale de leurs trajectoires.

Borelli, il est vrai, ne le dit pas. Mais il le fait. Et, exactement comme Galilée, et à la suite de celui-ci, il invoque le principe de l'uniformité de la nature qui procède partout par les voies les plus simples et les plus faciles, qui ne trouve pas de plaisir à suivre des voies diverses qui mènent au même but, et qui, au contraire,

(1) Borelli, *op. cit.*, p. 3, cap. I : *Mediceorum syderum motus similes esse debere motibus caeterorum planetarum* ; « Ad Mediceorum syderum theorias rite inquirendas, et explicandas, necessario profecto esset exacta quaedam ac omnimoda praecognitio eorum motuum, et multiplicis anomaliae, quorum equidem vestigatio, cum nobis tam brevi tempore ab eorum prima cognitione tradita a Galileo minime permissa sit, circa ipsos motus ulterior contemplatio non dari videtur, omnis enim nostra cognitio scientifica, ac discursiva, a sensibus, atque experimentis oriri debet, sed licet id verum sit, ostendam nihilominus nobis dictorum mediceorum syderum dispositiones motionesque perquirere datum esse, paucis tantum illis observationibus praeeuntibus, quae nobis usque adhuc innotuerunt, vice enim earum, quae nobis desunt permultis satisque notis caeterorum planetarum observationibus uti possumus, cum quibus iovialia sydera in omnibus motuum generibus debent universim convenire ; idque ex hoc primo principio, ac axiomate deduci potest, naturam scilicet ad omnia sua munia obeunda simplicissima semper facillimaque media adhibere, tandemque eam varietate non delectari diversisque rationibus operandi, verum constanti semper perseverantia ijsdem organis uti ac instrumentis eademque methodo, cum effectus inter se similes operatur. Huius rei innumera propè dixerim exempla suppeterent, verum animalium plantarumque structuram actiones perpendere satis erit, in quibus, easdem naturales, vitales, ac animales operationes producit, eadem prorsus organa, ac motus adhibendo. »

se sert toujours des mêmes causes pour obtenir les mêmes effets. Aussi, malgré une diversité apparente, y a-t-il une conformité parfaite dans le mouvement des planètes, et une analogie non moins parfaite dans la structure interne des animaux. Même des animaux des régions et des climats extrêmement différents. Aussi pouvons-nous affirmer, *a priori*, pas mal de choses sur les animaux que nous n'avons jamais vus.

Ce pourquoi nous avons bien le droit d'appliquer à l'étude des mouvements des planètes médicéennes (des lunes de Jupiter) une théorie confirmée par les observations portant sur les autres planètes et, tout particulièrement, par les observations portant sur les mouvements de la lune.

Borelli, donc, nous expose les particularités — les anomalies — du mouvement de la Lune, et les transpose tout simplement aux planètes médicéennes, où, comme nous le savons — il vient de nous le dire — elles n'ont jamais encore pu être observées. Puis, fier de son triomphe, il nous expose les bases théoriques de son astronomie.

On pourrait se demander ce que les planètes médicéennes viennent faire ici, et pourquoi Borelli ne s'est pas contenté de donner, sur les fondements de sa mécanique céleste, une théorie du mouvement de la Lune, qui est tellement plus facile à vérifier par l'observation ? E. Goldbeck invoque deux raisons. Tout d'abord, pense-t-il (1), Borelli était conscient de l'insuffisance de sa théorie et de ses moyens mathématiques, conscient du fait qu'il lui était impossible d'accomplir son projet, et c'est pourquoi il avait préféré parler des satellites de Jupiter et non de la Lune : justement parce que la vérification était plus difficile. J'avoue, pour ma part, que l'hypothèse de Goldbeck ne me paraît pas vraisemblable : aussi faible, en fait, que soit la théorie de Borelli, il était, lui, convaincu de sa vérité. Et c'est précisément pour montrer la fécondité de sa méthode (et aussi, comme je l'ai déjà dit, pour flatter le Grand Duc), et ouvrir une voie aux observateurs futurs, qu'il traite des planètes médicéennes. N'est-ce pas, justement, la stérilité de l'observation pure et simple qui lui a fait comprendre qu'il fallait commencer par la théorie ? — La seconde raison invoquée par Goldbeck me paraît, en revanche, tout à fait convaincante : dans la mesure où il se bornait à ne parler que des lunes de Jupiter, et bien qu'il le fasse tourner autour du Soleil (ainsi que toutes les autres planètes), Borelli

(1) Cf. E. Goldbeck, *op. cit.*, pp. 18 sq.

pouvait échapper à l'accusation de copernicanisme, et ce par un moyen très simple : il lui suffisait d'éviter de parler de la Terre et de la placer parmi les planètes (1). Il lui suffisait aussi de ne pas dire que le Soleil se trouve au centre du monde et de mentionner une ou deux fois son mouvement. Ainsi il se conformait à la lettre même de la condamnation de Copernic et suggérait au lecteur — surtout à un lecteur pas trop attentif — qu'il adhérait au système de Tycho-Brahé, ou à un système du genre de celui-ci, qui, après tout, n'avait jamais été condamné par l'Église (2).

Tout cela eût été impossible s'il avait voulu parler de la lune. En effet, dans la mécanique céleste de Borelli — comme dans celle de Kepler, avec cette différence toutefois que Borelli accepte le principe d'inertie — le mouvement des planètes s'explique, en dernière analyse, par la rotation du Soleil autour de son axe. Le mouvement des satellites — en cela très rigoureusement distingués des planètes primaires — s'explique par la rotation de leur corps central. Mais — et ceci est un point d'une importance capitale — tandis que les planètes primaires sont mues par le Soleil, et par le Soleil seulement, les satellites subissent la double influence de leur corps central et du Soleil en même temps. De là des anomalies supplémentaires dans leurs mouvements (3). Il en résulte que Borelli ne pouvait pas traiter du mouvement de la Lune (la nôtre) sans se découvrir (4) : aussi n'en a-t-il pas tenté l'explication.

Ceci dit, nous pouvons nous tourner vers l'étude de la cosmologie borellienne que nous n'envisagerons d'ailleurs que dans ses traits les plus généraux. L'étudier en détail nous mènerait trop loin et ne présenterait pas un très grand intérêt. L'importance de

(1) Cf. *ibid.*, p. 19.

(2) Ceci ne semble pas avoir été admis sans résistance par les autorités ecclésiastiques. La dédicace au grand duc Ferdinand II est du 10 oct. 1665, mais l'*imprimatur* n'est que du 26 février 1666. De plus, ainsi que l'a remarqué Goldbeck, le I de MDCLXVI de la page du titre semble avoir été surajouté. Le copernicanisme de Borelli était trop flagrant pour que les autorités ne se fissent pas tirer l'oreille...

(3) Le mouvement des planètes s'explique par la pression du tourbillon des rayons solaires ; celui des satellites, par une pression du tourbillon des rayons-moteurs des planètes primaires. Les satellites subissent l'influence des deux tourbillons qui les poussent tantôt dans le même sens, tantôt dans des sens opposés. Cette théorie, dont l'origine se trouve chez Kepler, est assez compliquée et ne présente pas un très grand intérêt ; comme elle n'est qu'une application des principes généraux de la mécanique céleste de Borelli nous n'allons pas l'étudier ici.

(4) Il aurait dû, en effet, lier le mouvement de la Lune sur son orbe (autour de la Terre) à une rotation de la Terre sur son axe.

Borelli pour l'histoire de la pensée scientifique consiste à avoir élaboré une mécanique céleste galiléenne et non pas à s'être trompé — ou non — dans ses applications.

II

Le grand problème qui domine la pensée borellienne, problème que Kepler a mis à l'ordre du jour, pourrait se résumer ainsi : *a quo moveantur planeta* ? et pourquoi elles se tiennent à leurs places ? J'ai déjà eu l'occasion d'expliquer que, pour l'astronomie anté-copernicienne, le problème, si important qu'il fût devenu par la suite, ne se posait pas ; ou, si l'on veut mieux, était résolu avant de se poser (1). Le mouvement des planètes était conçu comme solidaire de celui des orbes, ou sphères célestes (solides) dans lesquelles les planètes se trouvaient enchâssées ; et le mouvement de celles-ci s'expliquait, d'une manière tout à fait naturelle, par l'action des âmes, ou des intelligences qui leur étaient associées. Il en est encore exactement de même pour Copernic qui, bien qu'il ne parle jamais d'intelligences ou d'âmes des sphères célestes, croit néanmoins à l'existence de ces sphères, et même réussit à leur rendre le mouvement uniforme (circulaire) que l'astronomie ptoléméenne avait été forcée d'abandonner (2).

Ce n'est qu'avec Tycho Brahe — ou, plus exactement, ainsi que le remarque Kepler, après la destruction des sphères et des orbes solides par Tycho Brahe — que le problème des mouvements planétaires, c'est-à-dire de leurs causes, ait pu devenir actuel. Encore faut-il dire que son actualité a été bien moindre qu'elle ne nous semblerait avoir dû l'être. Ainsi, Tycho Brahe lui-même ne se le pose jamais. Et si Kepler en fait le sujet même de son grand ouvrage — *Astronomia Nova sive Physica coelestis* (3) — Galilée l'ignore complètement. Et il en est de même en ce qui concerne Riccioli, ou Fabri. Et même, ce qui est plus étonnant, Ismaël Bouillaud (4). Dans l'ensemble, Borelli fait donc exception.

(1) Cf. « La gravitation universelle, de Kepler à Newton », *Archives d'histoire des sciences*, 1951, p. 642.

(2) Cf. mon introduction à N. COPERNIC, *Des Révolutions des Orbes célestes*, Liv. I, Paris, 1934.

(3) *Astronomia Nova* ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ *sive Physica Coelestis tradita commentariis de motibus stellae Martis* (Heidelberg), 1609. Dans le titre de l'ouvrage de BORELLI, le : *ex causis physicis deducta* correspond à l'ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ de KEPLER.

(4) Ismaël BULLIALDUS, *Astronomia philolaica*, Parisii, 1645.

Cet état de choses, si étrange de notre point de vue, peut s'expliquer, me semble-t-il, par la persistance d'une tradition, ou, ce qui est la même chose, par les effets d'une inertie intellectuelle, extrêmement puissante. C'est que les astronomes, ainsi que je viens de le dire, ne s'étaient jamais posé le problème des causes physiques des mouvements célestes (1) — bien au contraire : la nature propre de la réalité céleste la soustrayait justement à l'action des causes qui se faisaient valoir dans la réalité terrestre ; aussi avaient-ils pris l'habitude de n'envisager les mouvements célestes que du point de vue de la cinématique (2) (et non pas de celui de la dynamique). On comprend bien, par conséquent, que ce soit justement chez Kepler que le problème se soit posé pour la première fois : Kepler, en effet, unit la physique céleste à la physique terrestre et, de ce fait, attribue aux planètes — se mouvant librement dans l'espace et non plus enchâssées dans les sphères — exactement la même *inertie*, *i. e.* résistance au mouvement, qu'il trouve dans les corps sublunaires. De plus, et c'est là un point d'une importance capitale, ses planètes ne se meuvent plus en cercle, mais décrivent des ellipses, et ce avec une vitesse non plus uniforme, mais variable (3). La recherche d'une explication physique de phénomènes aussi étranges s'impose donc à lui.

Elle s'impose bien moins, ou même pas du tout, à ceux qui n'admettent point le caractère elliptique des trajectoires planétaires. Même si, par ailleurs, ils rejettent l'opposition des deux mondes — sub- et sur-lunaire — et admettent l'unification de la physique. Car la persistance de la croyance au caractère naturel du mouvement circulaire — croyance que nous trouvons non seulement chez Kepler (4), mais même chez Galilée qui ne s'en est jamais, du moins jamais entièrement, libéré (5), aboutit à un résultat curieux et paradoxal : à savoir que ce sont justement

(1) La matière céleste n'offrant pas de résistance au mouvement, la considération des forces motrices était sans objet.

(2) La tradition des astronomes voyait dans leur science une discipline calculatrice et pragmatique dont le but était de *salvare apparentias* et permettre les prédictions sans postuler la réalité des « cercles » ou « orbes » qu'ils employaient. Cf. P. Duhem, *La théorie physique, son objet, sa structure*, Paris, 1908.

(3) En effet, la persistance — du repos ou du mouvement circulaire uniforme — se passe d'une explication physique. La variation constante de la vitesse en exige une.

(4) Si le mouvement, même circulaire, des planètes, ne peut s'expliquer, pour Kepler, que par l'action d'une cause physique, en revanche il n'engendre pas de forces centrifuges. Pour que la Lune ne tombe pas sur la Terre, il faut qu'une force « animale » l'en empêche.

(5) Cf. mes *Études galiléennes*, Paris, 1939.

Galilée et les Galiléens qui n'éprouvent aucun besoin de rechercher la cause des mouvements circulaires des planètes. Transposant aux mouvements planétaires leur *principe d'inertie*, *i. e.* celui de la conservation du mouvement et de la vitesse, ils estiment « naturel » que ces mouvements, une fois commencés, perdurent de par eux-mêmes. C'est que leur monde — comme celui de Kepler et de Tycho Brahe — est toujours un monde *fini* et, dans un monde fini, le mouvement circulaire est, effectivement, un mouvement privilégié. C'est pour cela aussi que pour eux — exactement comme pour Kepler — le mouvement des planètes n'engendre pas de forces centrifuges.

Le grand mérite de Borelli est d'avoir reconnu l'importance de l'œuvre de Kepler et accepté franchement la révolution keplérienne — l'ellipticité des trajectoires planétaires — ; ainsi que d'avoir, en même temps, rompu définitivement avec le privilège de la circularité : pour lui, aux cieux comme sur la terre, c'est le mouvement *en ligne droite*, et la vitesse linéaire, qui se conservent. Ainsi, meilleur Galiléen que Galilée ne l'a été lui-même, pourra-t-il faire bénéficier l'étude du problème keplérien de tout le progrès accompli par la révolution galiléenne. Mais il paiera le prix de sa fidélité aux principes de celle-ci.

Voyons donc comment, en se fondant sur les « faits », à savoir, l'ellipticité des trajectoires planétaires, Borelli va développer son astronomie théorique :

On se demande tout d'abord, écrit-il (1), en vertu de quelle nécessité les planètes jamais ne s'évadent des cercles une fois décrits par elles, ni en s'écartant du globe qu'elles contournent pour parcourir l'espace du monde par des lieux différents, ni en se rapprochant [du globe central] jusqu'à ce qu'elles s'unissent [à lui]. Or, nous sommes instruits par la lumière naturelle que cette question peut être résolue de trois manières :

Primo (2) : si les planètes étaient attachées au dit corps central par quelque lien corporel, tel que, par exemple, un fil ou une roue solide, ceux-ci, attachés au Soleil lui-même, jamais ne laisseraient la planète s'en écarter davantage que ne le permet la longueur du dit fil ou du rayon de la roue solide (3).

(1) Borelli, *op. cit.*, cap. XI, pp. 45 sq. : « *Propositions ou principes philosophiques nécessaires pour l'intelligence des causes des excentricités des orbes des astres médicéens, et des figures elliptiques décrites par ceux-ci.* »

(2) Personne n'a jamais soutenu cette hypothèse dans la forme que lui donne Borelli ; elle correspond, dans sa pensée, à la théorie des orbes solides.

(3) Il est curieux de constater que, tandis que Kepler était préoccupé par la question : pourquoi les planètes ne s'unissent pas au Soleil (ou la Lune à la Terre), c'est la question

Secundo (1) : si avec quelques-uns nous supposions y avoir autour du Soleil une certaine aura éthérique, comme un *confinium*, de consistance et de rareté déterminée, semblable à l'eau de l'océan, de telle façon que le corps de la planète nage dans la surface externe de cet éther comme le navire dans notre eau. Et quoiqu'il paraisse difficile [d'admettre] qu'un corps solide et dense, tel qu'est la planète, puisse être soutenu par la plus haute et la plus rare région éthérée, néanmoins cet effet peut être rendu vraisemblable de plusieurs manières : *primo*, en supposant que la vertu quasi-magnétique par l'effet de laquelle la planète, pendant qu'elle est plongée dans la dite surface, tend à se rapprocher du corps solaire (2), n'augmente pas selon les lois de la gravité, [lois] selon lesquelles le *conatus* d'une chose à se mouvoir vers le Soleil croît dans la mesure où augmente sa partie dense et matérielle ; et nous pouvons appuyer ce raisonnement sur le fait que, si nous prenons une boule de fer, cave et remplie d'air, nous la voyons se rapprocher de l'aimant avec beaucoup d'*impetus* et d'énergie, ce qui cependant n'arrive pas à une balle en marbre ou en or, bien que très lourde. *Secundo*, il n'est pas impossible que la vertu quasi-magnétique par laquelle la planète est poussée à se rapprocher du Soleil soit plus faible et d'énergie moindre que la vertu de l'éther en question ; ceci en concevant cette poussée comme provenant non pas de la plus grande ou plus petite quantité de la matière de la planète même, mais de la plus grande ou plus petite faculté magnétique (3) ; ainsi il ne serait pas impossible que le corps de la planète nage dans la région la plus haute de l'éther comme dans quelqu'océan ; et comme cet éther peut avoir une densité difforme, il en résulterait que les différentes planètes pourraient nager dans des profondeurs et à des distances différentes du Soleil ; et de la même manière, à des distances différentes de Jupiter, les quatre planètes médicéennes. Cette conception peut être confirmée par de nombreux exemples et particulièrement par l'expérience du vase partiellement rempli d'huile de pierre et partiellement d'esprit de tartre de vin, ou d'autres choses semblables, dans lequel on plonge des petits globes en verre pleins d'air, ainsi assortis qu'à chaque niveau des dits liquides mélangés surnage un certain globe, mais non les autres (4).

inverse qui inquiète Borelli : pourquoi restent-elles à proximité et ne s'en vont-elles pas ? c'est que la mécanique céleste de Kepler ignorait les forces centrifuges et celle de Borelli doit en tenir compte.

(1) La deuxième hypothèse est un mélange de conceptions kepleriennes avec celles que Roberval a exposées dans son *Aristarchus Samius*, Paris, 1647.

(2) La vertu quasi-magnétique n'est pas une force d'attraction, mais une tendance.

(3) Dans la conception keplérienne, l'attraction mutuelle des corps matériels semblables (la Terre et la Lune) est proportionnelle à la *moles* (masse) de ces corps. Mais l'attraction magnétique des planètes par le Soleil n'est pas fonction de leurs masses.

(4) Les expériences de ce genre ont été exécutées à l'*Accademia del Cimento* qui s'intéressait vivement à la détermination des poids spécifiques.

Il faudrait supposer de plus que la surface ultime de chacun de ces océans éthériques ait une forme non pas exactement sphérique, mais plus renflée d'une part que de l'autre ; alors le mouvement de la planète surnageante pourrait se révéler excentrique ; mais il est clair que de ces deux modes [d'explication] le premier est taxé de fausseté déjà par les observations du sens, et le second l'est par les multiples difficultés qu'il implique ; ce pourquoi nous sommes forcés de les abandonner tous les deux et de voir si les apparences ne peuvent être sauvées d'une manière plus sûre et plus facile, sans postuler l'absurde solidité de la substance céleste et les océans éthériques susdits (1). Ce à quoi nous allons procéder en admettant quelque chose qui semble ne pas pouvoir être nié, à savoir que les planètes ont un certain appétit naturel à s'unir au globe du monde qu'elles contournent, ce pourquoi en fait elles tendent de toutes leurs forces à s'en approcher ; les planètes du Soleil, et les étoiles médicéennes de Jupiter (2). Il est, de plus, certain que le mouvement circulaire confère au mobile un *impetus* de s'éloigner du centre de la révolution, ainsi que nous en faisons l'expérience lors de la giration de la roue, ou de la fronde, dont la pierre acquiert l'*impetus* de s'écarter du centre de sa révolution (3). Nous supposerons donc que la planète tend à s'approcher du Soleil et qu'en même temps, par l'*impetus* du mouvement circulaire, elle acquiert l'*impetus* de s'éloigner du centre solaire : alors, tant que les forces contraires demeurent égales (l'une est en effet compensée par l'autre), [la planète] ne peut devenir ni plus proche ni plus éloignée du Soleil et ne peut se trouver en dehors d'un espace certain et déterminé ; ainsi la planète apparaîtra comme équilibrée et surnageante.

Nous le voyons bien : l'assimilation de la mécanique céleste à la mécanique terrestre, l'introduction dans le ciel, à la suite de

(1) Borelli va fort ! L' « absurde solidité » des sphères a été admise pendant des siècles.

(2) Borelli est fidèle à la conception galiléenne (copernicienne) de la pesanteur : la gravité (dont on ignore la nature) est une tendance naturelle des corps à s'unir à leurs Touts ; les planètes tendent vers le Soleil, elles ne sont pas attirées par lui. La différence de ces deux conceptions a été souvent méconnue par les historiens modernes : pour nous, en effet, gravitation et attraction se confondent. Mais non pour les penseurs du XVII[e] siècle ; pour eux ce sont deux choses rigoureusement opposées. Ainsi Borelli (à la suite de Galilée) peut-il affirmer que les planètes *tendent* ou *gravitent* vers le Soleil, tout en niant qu'elles soient attirées par lui ; et même, qu'il y ait, en général, de l'attraction dans le monde ; cf. : Joh. Al. BORELLUS, *De motionibus naturalibus a gravitate pendentibus*, Lugduni Batavorum, MDCLXXXVI, cap. VI, pp. 166 sq. : « Nullam Attractionem, nec vim Tractivam in Natura dari. »

(3) On s'est demandé parfois — entre autres E. GOLDBECK, *op. cit.*, p. 22 — si Borelli se rendait bien compte que la force centrifuge résulte de l'inertie tangentielle des corps en mouvement circulaire. Le dessin par lequel Borelli illustre sa théorie (fig. 1) — qui manquait dans l'exemplaire de Goldbeck — et le texte qui l'accompagne (cf. p. 114) ne laisse aucun doute à cet égard. Ceci, d'ailleurs, n'est pas un mérite vu que Galilée (sans parler de Descartes et de Huygens) avait déjà là-dessus des idées parfaitement correctes.

Galilée sans doute (1), mais d'une manière beaucoup plus conséquente que celui-ci, de la gravitation (tendance naturelle) des corps célestes vers leur corps central (des planètes, vers le Soleil, des satellites vers la planète primaire), ainsi que de la force centrifuge engendrée par leur mouvement autour de celui-ci, permet à Borelli de résoudre d'une manière extrêmement élégante et, en principe, parfaitement correcte, le problème de la stabilité du système solaire : afin que les corps célestes restent à la même distance du Soleil (les satellites de leur corps central), il faut, et il suffit, que la force centrifuge et la force centripète soient égales.

Or que cela soit possible, une expérience terrestre va nous le prouver. Borelli poursuit donc :

Or (2) l'assertion précitée peut être confirmée par l'expérience suivante (3) : que l'on prenne un cercle en bois ABC, au diamètre duquel soit adaptée la règle AB, et à son centre D que soit ajouté le petit axe ou la verge DE élevée sur le plan du cercle ABC, et au centre D que soit placé un morceau d'aimant F, dont le pôle sud regarde vers le point A ; puis, que le tout ainsi composé [soit mis à] flotter dans l'eau du bassin RS ; en G que soit placé un morceau de liège sur lequel soit un globule en fer I ; et que ce liège, ensemble avec ce globule en fer, puisse nager librement dans l'eau ; puis, que le liège soit poussé vers l'aimant, jusqu'à ce qu'il arrive dans la sphère d'activité du dit aimant, à savoir jusqu'au lieu d'où le petit globe en question commence à s'approcher lentement du dit aimant ; que de la main alors on fasse tourner horizontalement le point extérieur E de la verge, de façon que le liège G, ensemble avec le petit globe en fer placé dessus, soit mû par le demi-diamètre AD ; supposons en outre que le globe en fer I flottant [dans le bassin] puisse en [l'espace de] temps d'une seconde se mouvoir de G en H en se rapprochant de l'aimant F ; et que dans le même temps le dit globule en fer soit transporté par l'arc HL en un

(1) Galilée, ainsi qu'on le sait, admet une gravitation des planètes vers le Soleil, du moins au début de la création : les planètes tombent vers le Soleil afin d'acquérir la vitesse avec laquelle elles se meuvent [cf. *Dialogo* (*Opere*, éd. Naz., v. VII, p. 44)] ; mais l'action de la gravitation ne joue plus depuis que leur mouvement de chute a été transformé par Dieu en un mouvement circulaire. Pour Borelli, cette gravitation est un facteur constant de l'Univers. Il faut noter toutefois que cette gravitation ne joue qu'entre les planètes et le Soleil, les satellites et le corps central ; elle n'est nullement universelle : les satellites ne tendent pas vers le Soleil, ni les planètes ne tendent l'une vers l'autre. La généralisation de la gravitation est le fait de Hooke et de Newton.

(2) Borelli, *op. cit.*, p. 47.

(3) Les expériences de Borelli sont très curieuses ; elles méritent d'être vues dans leur réalité historique. C'est pourquoi j'en donne la description complète (par Borelli lui-même) au lieu de me borner à une réduction schématique et modernisante ainsi que l'ont fait les historiens qui en ont traité. Cf. plus bas, p. 114, le dessin de Borelli.

mouvement circulaire qui peut être fait tellement rapide que [dans l'espace] d'une seconde il pousse le mobile flottant I par la tangente HK, comme l'exige la nature du mouvement circulaire, et le repousse, par l'espace LK, et produise ainsi un éloignement égal à GH ; or comme de ce fait, dans le même temps d'une seconde, le rapprochement GH de l'aimant sera égal à l'éloignement LK produit par le tourbillon du mouvement circulaire, il en résultera que la distance, [du globule au centre D] ou le rayon DK, sera égale au demi-diamètre ; mais comme le globule en fer I, dans les temps suivants, et même dans tous les instants des temps, persévère dans le même *conatus*, c'est-à-dire tend à se rapprocher de la même manière de l'aimant F, et que le mouvement circulaire pareillement persévère dans [son action de l'en] repousser, il s'en suivra que, durant le circuit tout entier, le globule flottant se tiendra à la même distance de l'aimant F et du centre D, et ainsi suivra la périphérie du cercle sans aucune déviation, et cela se fera même si le globule flottant n'est rattaché à aucun corps solide, ni retenu par aucune faculté externe, mais nage au milieu d'un liquide, qui d'aucune manière ne s'oppose à l'appropinquation de l'aimant au centre D.

L'expérience est concluante. Toutefois, l'utilisation de l'aimant pour illustrer les faits astronomiques est dangereuse, justement parce qu'elle pourrait suggérer l'existence, dans le système solaire, d'attractions magnétiques et nous ramener ainsi à une conception (la deuxième hypothèse) que nous avons déjà rejetée. Aussi Borelli nous offre-t-il un autre *exemplum*, purement mécanique cette fois-ci (fig. 1) :

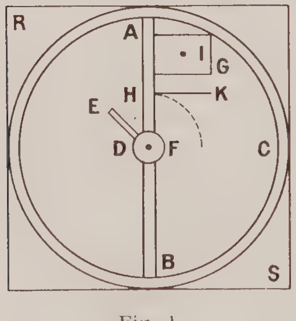


Fig. 1

Mais on peut en faire l'expérience beaucoup plus facilement encore, sans aimant, à condition seulement que la verge en bois AB ne soit pas droite, mais inclinée en D, de manière que les deux rayons AD et DB fassent un angle obtus auprès du point le plus bas D, et que le petit axe ED forme [avec eux] des angles aigus EDA et EDB. Ceci étant fait, que l'on évide un canal droit et lisse dans le rayon AD, de telle façon qu'une lourde balle G puisse descendre par ce canal incliné de A en D. Si, après cela, en tournant le petit axe ED on confère à la machine AB une rotation dans le plan horizontal, pendant que la balle dans le petit canal descend vers D, et que la vélocité de ce tourbillon soit déterminée de telle façon qu'elle repousse la balle G vers A avec la même force avec laquelle celle-ci, par son poids naturel, tend à descendre par le canal vers le centre D, alors certes

par suite de l'égalité des forces contraires, la balle, pendant la révolution entière par l'arc GK, sera vue être également distante du centre de sa révolution, D.

Ce pourquoi si, de la même manière, nous concevons dans l'espace sphérique la planète J (qui a l'instinct naturel de s'approcher du Soleil D) (1) et si en même temps [nous la concevons] se mouvoir dans un orbe autour de ce centre solaire avec une vitesse telle qu'elle suffise à faire reculer la planète d'une distance précisément égale à celle dont elle se rapprocherait du Soleil en chaque instant, il n'est certes pas douteux que [animée] de ces deux mouvements contraires [qui] se compensent mutuellement, l'étoile J ni ne s'approchera du Soleil, ni ne s'en éloignera d'une distance plus grande que le demi-diamètre DG : ce pourquoi elle apparaîtra équilibrée et flottante, ou retenue par quelque lien ferme, bien qu'elle soit placée dans l'éther le plus fluide et qu'elle ne soit appuyée sur rien, ni supportée par rien ; or tout cela peut se produire sans facultés angéliques ou intellectuelles, mais par les forces seules de la nature ; ainsi, sans difficulté aucune, les planètes pourraient persévérer dans leur mouvement autour du Soleil, ou de Jupiter, et ne pourraient s'en éloigner, ou s'écarter du chemin, bien que l'éther soit très fluide (2).

III

Ayant ainsi posé les bases de sa mécanique céleste, Borelli se tourne maintenant vers le problème des mouvements planétaires, vers la question *a quo moveantur planeta ?* Là encore, après le rejet des solutions « animastiques », il s'arrêtera à une solution purement mécanique. Une solution manifestement inspirée par Kepler. Et même : une solution envisagée et rejetée par Kepler. Mais n'anticipons pas. Écoutons Borelli :

En second lieu, nous devons nous demander par quelles vertus les planètes sont mues autour du Soleil, ou autour de Jupiter, c'est-à-dire [nous demander] si cette force provient d'un principe interne et naturel, ou d'un [principe] externe et violent, ou des deux ensemble ; et si ce principe est interne, [il faut] se demander s'il est animastique, comme le principe des mouvements des animaux, ou naturel, comme la propension des corps graves à descendre ou l'appétit par lequel l'aimant s'approche du

(1) L' « Instinct naturel » est opposé ici — comme partout — à l'*attraction* magnétique ou quasi-magnétique, tout en étant lui-même une force quasi-magnétique.

(2) Comme Bruno et Kepler, Borelli n'admet pas l'existence d'un vide interstellaire : l'espace est rempli d'éther.

fer (1) ; mais si, au contraire, la vertu susdite est externe, [il faut se] demander si elle dépend des intelligences ou esprits angéliques, ou si, au contraire, elle est semblable aux mouvements des projectiles.

Il y a beaucoup [de gens] qui, afin de rendre compte des mouvements planétaires qui ne sont pas simples comme la descente de la pierre, mais s'accomplissent avec un artifice suprême, ont recours à l'âme et aux intelligences comme à une ancre sacrée ; en effet ils ne peuvent comprendre comment une planète pourrait se mouvoir à travers l'éther liquide selon une loi constante par un cercle excentrique sans aucune déviation, et ce avec toutes les anomalies ingénieuses qui s'observent dans leur mouvement. Au contraire nous atteignons facilement cette fin en supposant adjoint à la planète un guide non seulement voyant, mais même intelligent, qui la conduit sur la voie due sans aucune transgression (2). Toutefois, bien que cette explication soit acceptée par beaucoup [de gens], on ne trouve absolument personne qui mette en doute que, s'il était possible d'assigner aux mouvements planétaires des causes purement naturelles, il n'y aurait pas lieu de recourir à l'âme ou aux intelligences (3), de même que personne (comme je le crois) ne se persuadera que le mouvement par lequel les graves tendent à la Terre, par la ligne la plus courte de toutes, provient d'une âme, ou encore d'une intelligence, qui aurait son siège propre dans les pierres, et [les] pousserait vers le bas ; en effet il est possible à la nature d'arriver à cette fin avec moins de travail et à moindre frais, au moyen d'une simple faculté naturelle que l'on appelle gravité (4).

Or puisque la raison principale pour laquelle on fait appel aux intelligences dans les mouvements planétaires consiste dans le fait que leur parcours s'accomplit avec une si grande ingéniosité et adresse qu'il ne paraît pas vraisemblable qu'en vertu d'une faculté naturelle quelconque, simple et aveugle, les planètes non seulement soient suspendues sans aucune titubation dans l'éther fluide, mais encore accomplissent une circonvolution par un excentrique, et même (ce qui est encore plus étonnant) par l'ellipse, ou une ligne proche de l'ellipse ; que leurs apogées progressent et leurs nœuds régressent en succession [conformément] à une loi ferme et stable, et que cependant malgré une telle variété de circuit

(1) L'hostilité de Borelli contre la notion d'attraction est si grande qu'il préfère dire : l'aimant s'approche du fer et non : l'aimant attire le fer.

(2) L'explication des mouvements planétaires par l'action de forces « animastiques » avait encore cours au XVII[e] siècle dans les milieux anti-copernicains. Cf. J. B. RICCIOLI, *Almagestum Novum*, Bononiae, 1651, vol. II, l. IX.

(3) C'est ce qu'avait déjà dit Kepler : inutile de recourir aux forces « animales » là où les forces physiques sont suffisantes. Kepler avait ajouté que, vu que la direction et la vitesse des mouvements des corps célestes changeaient continuellement, l'existence des intelligences-guides, obligées de passer leur vie dans le calcul de ces variations, serait extrêmement pénible, *valde misera*.

(4) Il n'y a jamais eu de Dieu de la pesanteur — sauf, peut-être, le Dieu de Newton.

jamais elles ne vacillent : si donc nous montrions que tout cela peut être produit par une vertu simple et naturelle, soit interne soit externe, il n'y aurait pour nous aucun besoin de recourir à d'autres agencements (1).

La mécanique céleste de Borelli, et c'est là sa grande supériorité sur celle de Kepler, est fondée sur le principe de la conservation du mouvement et de la vitesse. Mais rien n'est plus fréquent que l'incompréhension de ce principe, même par ceux qui l'admettent. Sans parler de gens qui le croient valable pour le mouvement circulaire autant que pour le mouvement en ligne droite, la confusion entre la vitesse linéaire et la vitesse angulaire est constante (2). Or, il est extrêmement important de les distinguer : l'application correcte du principe d'inertie au problème des mouvements planétaires est à ce prix, et ce n'est pas sans raison que Borelli s'applique à réfuter les erreurs communément commises à ce sujet. En premier lieu l'erreur de ceux qui croient que, lors d'un mouvement circulaire produit par une force motrice donnée (constante), le mouvement est d'autant plus lent que le rayon-vecteur, ou la circonférence, sont plus grands. Cette opinion paraît être strictement conforme à l'expérience.

Car tout d'abord le sens même semble montrer que dans les mouvements circulaires (que leur cause soit une vertu interne et naturelle, ou une vertu externe et violente) ceux qui se font par des cercles plus grands (la force motrice étant la même) sont toujours plus lents que ceux qui décrivent des cercles moindres : ainsi tout corps grave suspendu effectue ses propres oscillations autour de son centre de suspension ; or celles-ci, sans aucun doute, sont produites par un principe interne et naturel, à savoir par la gravité du dit pendule qui, spontanément et par lui-même, sans être poussé par une force extérieure, accomplit ses vibrations propres. Mais nous voyons que si, tandis que le pendule va et vient, le fil auquel il est suspendu est allongé, immédiatement son mouvement devient plus lent ; mais si au contraire il est raccourci, il devient de suite plus rapide ; ainsi donc dans les circuits produits par une force naturelle et il est nécessaire que, lors d'une giration sur un cercle plus grand, le mobile

(1) Le problème de Borelli est exactement celui de Kepler : pour un esprit du XVIe (et encore du XVIIe) siècle un mouvement circulaire (ou un ensemble de mouvements circulaires) pourrait, à la rigueur, être expliqué par l'action de causes non-intelligentes. Mais il en est tout autrement lorsqu'il s'agit d'un mouvement autre que circulaire ou en ligne droite.

(2) Même pour un esprit de la taille de Fermat la distinction est loin d'être claire. Cf. FERMAT, *Œuvres*, vol. IV, *Sup.*, pp. 33 sq.

accomplisse le circuit dans un temps plus long et inversement. De même si nous usions de quelque vertu externe qui pousserait ledit pendule par la périphérie d'un cercle, nous verrions que si, après l'impression d'une telle impulsion au pendule, le fil était allongé, et les circuits agrandis, le mouvement se ralentirait. Si, par contre, le fil était écourté et les circuits raccourcis, [le mouvement] s'accélérerait.

La même chose se passe dans le cas de la petite balance de l'horloge dentée (1), sur laquelle on place habituellement deux poids également éloignés de leur axe ; ici nous voyons pareillement que la même vertu poussante du même poids tourne la petite balance, ainsi que toutes les autres roues, avec une rapidité plus grande lorsque lesdits poids sont plus proches du centre de leur révolution propre, et inversement. Ce pourquoi les mouvements circulaires produits aussi bien par la vertu propre que par la [vertu] externe accomplissent le parcours [du circuit] en un temps d'autant plus long que le demi-diamètre du circuit est plus grand, et inversement (2).

La théorie exposée, mais non encore réfutée, par Borelli, semble posséder l'avantage de pouvoir expliquer les variations de la vitesse des planètes sur leur trajectoire, c'est-à-dire expliquer pourquoi elles sont plus rapides lorsqu'elles sont proches du Soleil, et plus lentes lorsqu'elles en sont plus loin :

Si donc nous supposons que le corps de la planète tourne autour du Soleil, ou autour du Jupiter, par une force interne, ou plutôt qu'il tourne autour [du Soleil] par l'impulsion des rayons solaires, tandis que ceux-ci tournent ensemble avec le tourbillon solaire, et que la même chose se passe pour Jupiter (3), il n'y aura aucune difficulté [d'expliquer] la diminution de la vitesse de la planète : car elle décrira un cercle d'autant plus grand

(1) Le foliot.

(2) Ceci est parfaitement correct. L'erreur combattue par Borelli consiste à ne pas voir que ce qui varie, c'est la distance parcourue (et de ce fait le temps du parcours) et non la vitesse du mobile.

(3) Ainsi que je l'ai déjà noté plus haut, la théorie de Borelli est formée sous l'influence de celle de Kepler. Elle s'en distingue par le fait que, dans le cas du Soleil, Borelli attribue le rôle moteur aux rayons de la lumière ; solution que Kepler avait dû rejeter parce que, dans sa dynamique semi-aristotélicienne, dans laquelle la persistance du mouvement implique l'action continue du moteur, l'occultation d'une planète par une autre provoquerait un arrêt de la première ; en outre, l'action des rayons solaires, qui s'atténuent en fonction du carré de la distance de la planète au Soleil, serait beaucoup trop faible et ne pourrait entretenir, ou engendrer, un mouvement dont la vitesse est inversement proportionnelle à celle-ci. Borelli, du fait qu'il adopte la loi de la conservation de la vitesse, peut passer outre à ces difficultés. Mais il est obligé d'introduire dans sa théorie une dualité qui n'existait pas dans celle de Kepler : si le Soleil meut ces planètes par les rayons de la lumière, celles-ci meuvent leurs satellites par des rayons-moteurs *sui generis*. Chez Kepler la *species motrix* se chargeait de tout.

qu'elle sera plus loin du Soleil, et à cause de cela elle se ralentira. Mais par contre lorsqu'elle sera plus proche du Soleil, elle décrira un cercle plus étroit, et de ce fait sera plus rapide (1).

Or, bien que cette proposition puisse paraître suffisamment prouvée par les expériences précitées, cependant celles-ci ne sont pas suffisantes, ni ne sont exemptes d'erreurs. Ce pourquoi il est nécessaire que nous examinions attentivement la même chose par une analyse plus minutieuse. Or en premier lieu je dis qu'il n'est pas vrai que le même mobile, mû toujours par la même vertu motrice intrinsèque, et parcourant tantôt une périphérie plus grande d'un cercle, tantôt une plus petite, se meuve par le cercle plus petit d'un mouvement plus rapide que par le plus grand : il avance en effet avec la même vitesse par les deux cercles inégaux, c'est-à-dire en des temps égaux il parcourt des espaces égaux ; de telle façon que si le même mobile B porté par son principe interne, toujours uniforme à lui-même (2), tantôt se mouvait par la périphérie du cercle BC dont le rayon est AB, et tantôt par la circonférence BE dont le demi-diamètre est BD, il serait faux que le même mobile, dans des temps égaux, traverserait un espace plus grand par la circonférence BC. Or ceci est prouvé par une considération qui a pour fondement la raison naturelle elle-même, ainsi que l'expérience. Car premièrement, puisque nous avons supposé que la faculté motrice du mobile B est constante, et qu'elle n'augmente ni ne diminue jamais, il est assurément nécessaire que cette faculté, en des temps égaux, traverse des espaces égaux ; en effet la direction différente, ou l'inclinaison, ou l'incurvation des dits mouvements ne portent aucune altération à la faculté motrice précitée, ni à son opération uniforme, c'est-à-dire à la vitesse (3). Par conséquent dans des temps égaux le même

(1) Le raisonnement hypothétique de Borelli est très confus : il ne serait juste que dans la conception keplérienne, dans laquelle la vitesse de la planète est fonction de la force motrice du tourbillon aplati de la *species motrix* dont la densité, et donc la puissance, s'atténue avec la distance ; ou encore si la planète en question se mouvait tantôt sur un cercle proche du Soleil, tantôt sur un cercle éloigné de celui-ci : mais, en fait, elle se meut sur une courbe qui n'est pas un cercle. La conception, sousjacente à ce raisonnement, consiste dans une application — erronée — de l'image du pendule au mouvement planétaire : les planètes sont vues comme exécutant autour du Soleil un mouvement analogue à celui du pendule circulaire dont le rayon-vecteur tantôt se raccourcit et tantôt se rallonge et l'erreur consiste justement dans la confusion entre la vitesse angulaire et la vitesse linéaire. En outre, et c'est là une conception que Borelli partage, ou même, qui lui est propre, la trajectoire curviligne de la planète est conçue comme composée d'une infinité d'éléments circulaires infinitésimaux (cf. *infra*, fig. 7) : la planète, même en décrivant une ellipse, se meut, en fait, sur une infinité de cercles en passant constamment de l'un à l'autre.

(2) Borelli — et d'ailleurs Galilée également, bien qu'il s'en défende — distingue strictement entre principe interne du mouvement, telle par exemple, la pesanteur, et principe externe, c'est-à-dire poussée ou traction.

(3) L'exposé de Borelli est conçu selon une dynamique, ou du moins, est formulé dans une terminologie, prégaliléenne : la vitesse est dite être une opération de la faculté motrice

mobile B est mû avec des vitesses égales, et de ce fait il traversera les espaces égaux BC et BE. Il est assurément vrai que l'arc BE sera plus grand que s'il était semblable à l'arc BC, à savoir que l'angle au centre BDE aura à l'angle BAC la même proportion réciproque que l'ont les rayons des cercles susdits, c'est-à-dire qu'il sera comme AB à BD, parce que si l'angle BDF est fait égal à l'angle BAC, les arcs BC et BF seront semblables entre eux, et comme ces arcs BC et BE sont égaux, ils auront à l'arc commun BF la même proportion que le rayon AB au rayon BD. Comme donc l'arc EB à l'arc FB, de même est l'angle EDB à l'angle FDB, ou à l'angle BAC ; par conséquent, l'angle EDB à l'angle BAC aura le même rapport que le rayon AB au rayon DB.

Quant à l'expérience la plus apte à confirmer cette vérité, c'est celle-ci (1) : que l'on prenne un pendule B, suspendu au centre au clou A, et que la distance BD soit faite moindre que la longueur du fil AB, que l'on plante en D un autre clou, et que l'angle CAB soit fait égal à l'angle BDF. Après cela, que le pendule soit transféré au lieu AC et qu'il soit laissé libre de descendre vers le lieu AB, perpendiculaire à l'horizon ; il ne fait certes aucun doute [que] dans sa chute par l'arc BC le pendule aura acquis dans le lieu AB un certain degré déterminé de vitesse qui le portera par la circonférence décrite par le pendule plus court BD jusqu'au point G ; il est constant par l'expérience que l'arc BG soustend un angle GDB, qui, à l'angle BAC, possède la raison sous-double réciproque de celle que les longueurs des pendules ont entre elles (2) ; c'est-à-dire que si IB est la moyenne proportionnelle entre AB et BD, je dis que l'expérience montre que l'angle GDB aura à l'angle BAC, ou à l'angle BDF la même raison [le même rapport] que IB à DB. Cette expérience étant supposée, on doit démontrer que la vitesse du pendule AB est égale à la vitesse du pendule DB ; or les périphéries des cercles, ou les arcs semblables, ont le même rapport que les demi-diamètres AB et DB. Par conséquent, l'arc BC à l'arc BF est comme AB à DB ; mais l'arc GB à l'arc FB a la même proportion que IB à BD ; donc l'arc CB à GB est comme AB à IB ; mais comme les temps des oscillations par les arcs CB et BG ont la raison sous-double (3)

et à une faculté motrice uniforme est associée une vitesse uniforme. En fait, Borelli sait bien qu'une force motrice constante produit un mouvement accéléré, et que la vitesse une fois inculquée au mobile se conserve d'elle-même. Cf. *infra*, pp. 123 sq. La faculté motrice dont il s'agit ici n'est donc rien que le mouvement lui-même, ou, mieux la quantité de mouvement.

(1) L'utilisation par Borelli de la fameuse expérience de Galilée est très ingénieuse : Galilée l'avait imaginée pour démontrer que, quelle que soit la longueur de la trajectoire, un corps qui descend d'une certaine hauteur acquiert en le faisant une vitesse suffisante pour lui permettre de remonter à la même hauteur (par n'importe quel chemin). Borelli en tire la conclusion que, puisque les temps des parcours sont proportionnels aux longueurs des trajectoires, les vitesses linéaires des corps en question sont les mêmes.

(2) Est inversement proportionnelle aux racines carrées des longueurs.

(3) Proportionnelle aux racines carrées.

de celle qu'ont les longueurs des pendules entre elles (comme je l'ai démontré ailleurs et comme l'expérience en témoigne), il s'ensuit que l'espace CB à l'espace GB aura la même proportion que ces temps dans lesquels les parcours précités sont exécutés par le pendule ; mais comme les temps sont proportionnels aux espaces franchis, les vitesses sont égales entre elles ; par conséquent la vitesse du pendule AB est égale à la vitesse du pendule BD (fig. 2).

D'où il suit que, comme la vertu motrice est intrinsèque à chaque mobile (1), et qu'elle persévère toujours dans la même force, il est nécessaire que sa vitesse soit perpétuellement uniforme (2), et que de ce fait, elle franchisse dans des temps égaux des espaces égaux quelle que soit la figure ou la ligne par laquelle soit porté le mobile ; par conséquent, que le semi-diamètre du pendule ou du cercle soit allongé ou écourté, il n'est cependant jamais possible que sa vitesse subisse quelque changement, mais toujours en des temps égaux il parcourra des espaces égaux. Puis donc que les sens eux-mêmes nous apprennent que dans le mouvement des planètes se trouve une inégalité physique et réelle du mouvement, à savoir que, en fait, dans des temps égaux elles ne traversent pas des espaces égaux de la même ligne, ou du chemin, par lequel elles se portent, nous sommes forcés à [re]chercher une autre raison de la dite inégalité. Ce pourquoi il est nécessaire ou bien que nous concédions que la force motrice de la planète ne demeure pas toujours la même, mais tantôt augmente, tantôt s'amoindrit, ou bien il faut que nous recourrions à quelque cause externe, en vertu de laquelle le cours uniforme de la planète, qui lui convient naturellement, est accéléré ou retardé (3).

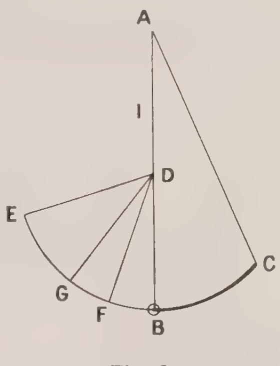


Fig. 2

Quant à la première [hypothèse], nous voyons que le mouvement d'une planète donnée jamais ne s'accélère, si ce n'est lorsqu'elle s'approche du Soleil, et ceci d'autant plus qu'elle [en] est plus voisine ; inversement,

(1) Borelli, *op. cit.*, p. 54.

(2) Le raisonnement de Borelli, pris à la lettre, est tout à fait faux : le mouvement du pendule n'est rien moins qu'un mouvement uniforme, justement parce que la « vertu motrice intrinsèque » du mobile, à savoir, la gravité est constante. En fait, nous avons ici une traduction archaïsante de la thèse galiléenne : la vitesse acquise par un mobile (dans une chute) ne dépend que de la hauteur de la chute.

(3) La variation de la vitesse du mouvement des planètes n'est pas un problème physique dans l'astronomie prékeplérienne, puisqu'elle résulte d'une combinaison de mouvements circulaires, uniformes en principe, sinon en fait, et surtout puisque l'astronomie prékeplérienne se passe de dynamique. Elle devient le problème central de l'astronomie keplérienne et post-keplérienne.

lorsqu'elle s'en va plus loin, sa vitesse se modifie dans l'ordre inverse (en effet, son mouvement propre retarde physiquement en raison des excès des éloignements susdits) ; ceci étant supposé déterminé et reconnu, on pourrait dire que, puisque le Soleil est comme le cœur ou la source vitale de la vertu motrice des planètes, plus les planètes s'approchent de cette source, plus grande est l'énergie et la force qu'elles reçoivent de lui, et [de ce fait] elles développent une plus grande vertu motrice [propre] ; ce pourquoi elles sont aptes à parcourir les lieux proches du Soleil par leurs orbes propres avec un *impetus* plus grand, et une vitesse [plus grande] qu'elles ne parcourrent les lieux davantage éloignés du Soleil (1).

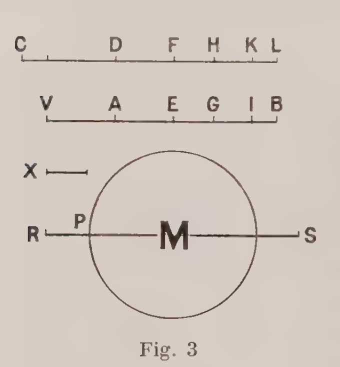


Fig. 3

Mais avant que nous ne passions à la [discussion] de la seconde hypothèse, il faut d'abord poser certaines choses et en premier lieu nous allons montrer que toute masse corporelle, si vaste soit-elle, flottant dans un fluide, suspendue et équilibrée de manière à être tout à fait indifférente au mouvement latéral, pourra être mue transversalement par n'importe quelle poussée (puissance poussante) si petite soit-elle. Que l'on suppose donc la vaste sphère M, flottant au milieu du fluide RS, si bien équilibrée qu'elle soit tout à fait indifférente au mouvement latéral vers R ou S, alors, si l'on supprime tous les empêchements externes et principalement la densité du fluide dans lequel flotte cette sphère, et qu'une puissance motrice, telle que l'atome P mis en mouvement de R vers S de manière à heurter la sphère du côté P, survienne, je dis que la vaste sphère M sera nécessairement poussée vers S. En effet la sphère M constituée en repos est supposée ne pas avoir ni inclination pour, ni répulsion contre, le mouvement transversal vers S ; par conséquent telle est son inclination au mouvement vers S que la résistance (2) ; si donc une force poussante P qui n'est pas indivisible (3) mais une quantité donnée *(quantà)* y était adjointe, nécessairement elle surmontera la résistance qui n'est d'aucune force, et de ce fait le très grand corps M sera privé de son repos primitif et sera poussé vers S (fig. 3).

L'opinion de Borelli, qui est celle de Galilée, a été, on le sait,

(1) Borelli, *op. cit.*, pp. 56 sq. Borelli s'exprime en langage prégaliléen, en semblant admettre l'axiome de la dynamique aristotélicienne : une force constante produit une vitesse constante. En fait, ainsi que je l'ai dit (cf. *supra*, p. 119, n. 3) et ainsi qu'on le verra plus bas (p. 124), la force motrice n'est pas, pour lui, autre chose que la vitesse elle-même.

(2) Le langage aristotélisant ne doit pas nous masquer la fidélité de Borelli aux conceptions galiléennes : l'inclination au mouvement autant que la résistance sont égales à zéro.

(3) Infiniment petite.

violemment combattue par Descartes qui, très curieusement, tout en formulant le principe d'inertie d'une manière beaucoup plus claire et plus nette que Galilée, n'a jamais voulu admettre qu'un corps immobile puisse être mis en mouvement par n'importe quelle force, si petite soit-elle, et qui renouvelle la conception aristotélicienne du rapport entre la puissance et la résistance en inventant la malheureuse théorie de la « quantité de repos ». Aussi, sans toutefois le nommer, Borelli procède-t-il à la réfutation de cette opinion de « certains modernes », et à la démonstration que toute force, à condition qu'elle soit *quanta* et non « indivisible », confère au mobile — si grand soit-il — une impulsion qui est elle-même *quanta*. Une impulsion qui n'est nullement un *impetus*, ou une « force motrice interne », mais qui n'est rien d'autre que le mouvement lui-même, mouvement qui une fois imprimé au mobile, s'y conserve indélébilement. Borelli nous dit, en effet (1) :

Nous devons montrer maintenant, que tout corps se trouvant en mouvement, doit, de par sa nature, se mouvoir avec une vitesse constante. Ceci est démontré par l'expérience dans le cas des projectiles, où, après le retrait du moteur, le mobile étant abandonné dans sa liberté, le mouvement persévère dans la même direction, et beaucoup plus clairement encore dans celle des pendules et des corps flottants, auxquels l'agitation est imprimée par n'importe quelle impulsion exiguë et faible ; [celle-ci en effet] persévère dans le mobile même si le corps qui l'a poussé s'en éloigne et revient au repos.

Toutefois il convient d'examiner maintenant ce qu'est cet *impulsus* et de quelle manière il est imprimé et retenu ; à cette question j'ai l'habitude de répondre ainsi : Que l'on suppose un [morceau de] bois surnageant et se trouvant en repos, et pareillement que soit présent un autre corps se trouvant en mouvement ; or si celui-ci, lorsqu'il se meut, heurte le bois surnageant et en repos, qui est indifférent au mouvement latéral, personne assurément ne s'étonnera que, embrassé ou tiré par quelque instrument, ou poussé par le corps en mouvement, il soit déplacé et qu'il soit mû avec la même vitesse avec laquelle se meut le mouvant ; mais ici nous ne voyons rien d'autre être imprimé dans le bois, ou le petit bateau, que le mouvement lui-même [qui lui est] surajouté. Mais en vérité, le mouvement, de par sa nature, n'est rien d'autre que la migration [de l'objet mû] d'un lieu dans un [autre] lieu et, comme tel, il est apte à transporter le bois par tant d'espace en tant de temps. Par conséquent, bien que plus tard le corps qui l'a mû tout d'abord ne reste pas dans sa proximité et ne garde pas de liens avec lui, néanmoins le petit navire, selon la nature du mouve-

(1) *Ibid.*, pp. 58 sq.

ment qu'il a déjà actuellement, pourra se mouvoir par tant d'espace en tant de temps. En effet, il est une loi de la nature que le mouvement ne soit rien d'autre que mouvement, c'est-à-dire, une migration, qui ne serait pas telle, si, par elle-même, elle s'épuisait sans aucune résistance contraire. Aussi bien la métaphore employée par Gassendi (belle sans doute mais très peu pertinente) est sans valeur. Gassendi dit en effet que le petit navire est accoutumé par quelque apprentissage à l'exécution du mouvement pendant qu'il est poussé par le mobile ; comme si le bois était capable de science et d'enseignement. Il vaut mieux donc dire que le mouvement, de par sa nature, est un mode qui s'acquiert si facilement qu'il ne peut pas se faire que ce qui se meut en acte, lorsqu'il heurte un corps indifférent au mouvement, ne le déplace pas pareillement avec soi ; or comme il est de la nature de cette translation qu'elle puisse se poursuivre perpétuellement jusqu'à ce qu'un empêchement, ou une cause destructrice, ne survienne, il s'ensuit qu'il est de la nature de n'importe quel mouvement, provenant de n'importe quel principe, de pouvoir se continuer et se poursuivre, c'est-à-dire, de pouvoir parcourir un espace égal dans un temps égal au précédent.

Il s'ensuit également que, par une succession d'impulsions, si faibles soient-elles (comme par exemple le choc d'un atome, ou la poussée d'un rayon de lumière), tout corps mobile, si grand soit-il (un satellite, ou même une planète) peut être amené à se mouvoir avec une vitesse aussi grande qu'on voudra — pas plus grande cependant que la vitesse des impulsions (chocs) elles-mêmes, — pourvu que le nombre des impulsions en question soit suffisamment grand.

Ceci étant posé, poursuit Borelli (1), il est clair que le Soleil est le centre du système des planètes et qu'il tourne autour de son axe, ainsi que le montrent les révolutions de ses taches. Or les rayons très efficaces [du Soleil] peuvent assurément saisir et pousser les corps planétaires dans un tourbillon solaire ; car si la lumière est une substance corporelle diffusée par le corps solaire à l'instar de quelque vent perpétuel, cette substance radieuse doit, elle aussi, tourner circulairement, comme tourne le corps solaire, et alors certes [il serait] non seulement possible, mais nécessaire, que les corps planétaires, équilibrés et flottant dans l'aura céleste éthérée, soient poussés par ces rayons corporels en translation (2).

(1) *Ibid.*, pp. 61 sq.

(2) La conception que Borelli se fait de la lumière — elle est identique à celle que s'en fait Kepler (cf. *Epitome Astronomiae Copernicanae*, *Opera*, éd. Frish, vol. VI, pp. 46 sq.), et provient très certainement de celui-ci — est assez curieuse ; et il n'est pas inutile de l'élucider, parce qu'elle diffère à la fois des conceptions modernes, et des conceptions scolastiques. En effet, pour Borelli, comme pour Kepler, les rayons lumineux, qui se propagent dans l'espace avec une vitesse infinie, ne sont pas formés par une succession d'émissions, mais sont des entités corporelles, bien que non matérielles, stables et permanentes, qui perdurent et qui restent attachées à leur source émettrice ; de ce fait même ces rayons, rectilinéaires et rigides — réifications des rayons linéaires de l'optique géomé-

Et bien que par certains ceci ne soit pas admis et que soit affirmé que la lumière est une substance incorporelle (1), on ne doit cependant pas douter qu'elle a quelque force et énergie motrice, puisque nous voyons des corps terrestres être mus et agités par ces rayons de la lumière : ainsi ils meuvent les particules végétales en les séparant, et puis les élèvent avec les autres vapeurs et exhalaisons. Nous voyons aussi que les fleurs des plantes sont agitées d'un mouvement local par ces mêmes rayons solaires, comme on le remarque dans les fleurs des prés. Il s'ensuit que la faculté motrice des rayons solaires, si faible et si petite qu'on la suppose, sera capable, conformément à la démonstration précitée, de pousser et de mouvoir les corps des planètes, parce que les globes des planètes sont parfaitement suspendus et équilibrés dans l'éther très fluide, et n'ont ni inclination au, ni répugnance contre, le mouvement transversal ; par conséquent ils pourront être mus par n'importe quelle vertu motrice qui les pousse. Ce pourquoi les rayons du Soleil, si faibles que nous les supposions, pourront pousser les corps des planètes ; et bien que cette vertu motrice semble au début ne pouvoir imprimer aux planètes qu'un mouvement petit et insensible, cependant progressivement le mouvement pourra croître jusqu'à une vitesse insigne ; sans doute, à un premier instant donné du temps, les rayons solaires, en tournant, ne poussent les planètes que faiblement et insensiblement, mais ce degré minime de vitesse ne s'évanouit pas, mais demeure imprimé [dans le corps de la planète] comme l'exige la nature du mouvement : à la première poussée succède un second *impulsus* très faible des mêmes rayons solaires, qui rend double l'*impetus* de la planète ; le troisième *impulsus* fait la même chose ; de même le quatrième et les autres suivants ; il en résulte finalement la vitesse maximale que peuvent imprimer les rayons du Soleil mus dans l'orbe ensemble avec le Soleil (2).

trique — participent à tous les mouvements de celle-ci, et tournent avec elle lorsque celle-ci est animée d'un mouvement de rotation (le faisceau de lumière d'une lanterne balaie l'espace). Ainsi lorsqu'un objet tourne devant nos yeux et nous présente successivement ses faces diverses, ce ne sont pas des rayons toujours nouveaux qui viennent frapper nos yeux, mais des rayons déjà émis, qui se meuvent *latéralement* avec l'objet lui-même. Ainsi « la pression » des rayons frappe les objets sur leurs côtés, et les emporte avec elle. C'est ce tourbillon des rayons qui emporte avec lui l' « éther très subtil » qui remplit l'espace interstellaire, et c'est lui aussi qui, progressivement, confère aux planètes sa propre vitesse. L'action des rayons-moteurs des corps célestes non-lumineux (les planètes primaires) est conçue exactement sur le même modèle.

(1) Le caractère incorporel de la lumière est généralement admis par l'optique médiévale en raison de son caractère immatériel. C'est justement contre l'identification de la corporalité et de la matérialité que s'élève Kepler pour qui la lumière est immatérielle et corporelle à la fois.

(2) Cf. *supra*, p. 124, n. 2. Les rayons du Soleil imprimant aux planètes les vitesses toujours nouvelles, bien que toujours plus petites, et ces vitesses se conservant, le mouvement des planètes s'accélère jusqu'à ce que leurs vitesses deviennent égales à celle des rayons solaires eux-mêmes.

La possibilité théorique du mécanisme astro-optique étant établie, Borelli, selon son habitude constante, cherche à la confirmer par une donnée expérimentale, ou plus exactement par un exemple analogique trouvé dans la réalité terrestre.

Or des exemples innombrables, si j'ose dire, s'offrent [à nous] d'un mécanisme pareil ; pour être bref, nous n'en choisirons qu'un seul : celui du navire que nous concevrons comme très vaste et flottant sur une mer très calme ; il n'est pas douteux que, si il était tiré par le cheveu le plus ténu, ou poussé par le souffle du vent, il pourrait être mû d'un lieu dans un autre. Or, bien qu'au début ce mouvement serait si faible et si lent qu'on ne puisse pas l'observer, et que de ce fait le navire semblerait être en repos, il est cependant clair que chacun des *impulsus* minimes qu'il subit s'imprime au navire ; or y étant imprimé, cet *impulsus* [y] demeure et, ensemble avec la série de tous les *impulsus* suivants, produit enfin une force qui devient apparente et manifeste, et rend le mouvement du dit navire observable.

Si donc nous voyons ceci arriver à un corps très grand, lequel, pour qu'il puisse se mouvoir, doit diviser et chasser de tous côtés les parties d'une grande masse d'eau, en les déplaçant d'un lieu dans un autre, et même surmonter la répulsion et le frottement de l'eau qui l'entoure, combien plus ceci ne devrait-il pas se passer si le navire susdit flottait non pas dans l'eau qui est un corps assez consistant et tenace, mais dans une mer suprêmement liquide et fluide, de ténacité nulle, comme est l'éther. Il n'y a personne qui ne verrait que le navire susdit pourrait, sans aucun doute, être mû d'un lieu dans un autre par une force motrice incomparablement plus faible que n'est la ténacité d'un cheveu de femme ou le souffle le plus faible du vent.

L'analogie est patente ; la conclusion *a fortiori* est donc permise. Aussi Borelli conclut-il triomphalement :

A mon intention présente suffisent les démonstrations données [plus haut], ensemble avec l'expérience décrite du navire poussé par un souffle très faible, au moyen de laquelle, ou par la lumière même de la nature, nous sommes convaincus que les rayons du Soleil, si peu de vertu qu'ils n'aient, ont néanmoins pu saisir et entraîner en orbe les corps des planètes équilibrés dans l'éther suprêmement fluide. De même les rayons moteurs émis par Jupiter, et qu'il tourne en orbe dans un tourbillon autour de son propre axe, de si faible faculté qu'on les suppose, pourront néanmoins emporter avec eux en cercle les quatre étoiles médicéennes dans l'éther extrêmement fluide (1).

(1) La conception des rayons rigides (cf. *supra*, p. 124, n. 2) soustend cette notion curieuse de rayons-moteurs.

IV

Le mécanisme imaginé par Borelli est fort ingénieux. Malheureusement, son action aboutirait à des effets assez peu conformes aux données de l'astronomie, données dont il était parti lui-même : en effet, en accumulant successivement les impulsions innombrables des rayons lumineux (ou moteurs), les planètes et les satellites devraient finir par se mouvoir avec une vitesse (linéaire) *absolument constante* pour chacun de ces corps célestes, vitesse rigoureusement égale à celle des rayons eux-mêmes à leurs niveaux ; de plus, toutes les planètes (et tous les satellites d'un corps central) devraient se mouvoir avec une vitesse angulaire pareillement égale, à savoir, avec celle de la rotation du Soleil (ou du corps central).

Il est assez probable que Borelli ne voit pas les conséquences de sa théorie, et cela parce qu'il est trop profondément influencé par Kepler. Il est, en tout cas, significatif qu'il ait crû devoir ajouter à l'exposé que je viens de citer une explication, empruntée à Kepler, de la variation réelle et physique des vitesses des corps célestes sur leurs trajectoires. Il nous dit donc qu'

Il reste maintenant que nous montrions de quelle manière et pour quelle raison, la faculté motrice qui se trouve dans le Soleil, ou dans Jupiter, bien qu'elle soit perpétuellement du même degré et uniforme à elle-même, peut néanmoins donner à une même planète une vitesse tantôt plus grande, tantôt plus petite, selon qu'elle s'approche ou s'éloigne plus ou moins du Soleil, ou de Jupiter ; or ceci sera fait très facilement à partir de certains principes de mécanique que nous allons énumérer brièvement (1) (fig. 4).

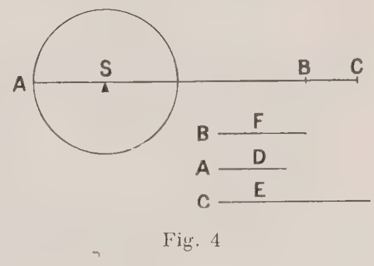


Fig. 4

Les principes de la mécanique invoqués par Borelli sont ceux du levier ou de la balance (2). De même que Kepler, il se représente l'action des rayons moteurs à l'instar de celle d'un levier dont le centre de rotation serait dans le centre et le point d'application

(1) Borelli, *op. cit.*, p. 63.

(2) La mésinterprétation des principes du levier et de la balance et leur application là où ils n'ont rien à faire est chose courante au XVII[e] siècle. Kepler, les géostaticiens, Fermat rivalisent d'incompréhension à cet égard. Nous ne devons donc pas être trop sévère pour Borelli.

de la force à la surface du Soleil (ou de la planète primaire) : il est clair que l'action de ce rayon-levier est d'autant plus faible que ce rayon est plus long ; plus exactement, elle est inversement proportionnelle à sa longueur. Voilà donc l'explication cherchée : les rayons moteurs agissent plus fortement sur les planètes lorsqu'elles sont proches du Soleil, et moins fortement lorsqu'elles en sont loin. Or, leur distance varie constamment. Les vitesses, de ce fait même, varient également, et réciproquement à la distance.

Pauvre Borelli ! Il ne remarque pas que cette explication, parfaitement raisonnable dans la dynamique semi-aristotélicienne de Kepler, dans laquelle les corps — même les corps célestes — sont doués d'une *inertie*, *résistance au mouvement*, et d'une tendance à revenir au repos, et dans laquelle la vitesse — *qui ne se conserve pas* — est proportionnelle à la force motrice, ne l'est pas du tout dans la sienne. Dans la sienne, en effet, la vitesse se conserve et les corps célestes, de ce fait, devraient se mouvoir d'un mouvement uniforme avec leurs vitesses acquises, malgré l'affaiblissement momentané, ou temporaire, de la force motrice. De plus, ils devraient se mouvoir avec la vitesse (linéaire) *maxima* du mouvement des rayons moteurs : à savoir celle avec laquelle ils se meuvent lorsque leur action est la plus faible.

Enfin, même sans tenir compte de la conservation de la vitesse accumulée, dans la mécanique de Borelli le raisonnement keplérien est inacceptable. En effet, Borelli sait parfaitement bien — chose curieuse, il invoque expressément ce principe — que « l'impulsion » est fonction à la fois de la « puissance » de l'agent et de sa vitesse... Or, la vitesse de l'agent en question, c'est-à-dire la vitesse linéaire du point du rayon moteur qui rencontre la planète, est d'autant plus grande que sa puissance est plus faible. De ce fait, l'*impulsus* ne pourrait varier en aucun cas. L'explication borellienne ne vaut rien. Elle est un exemple — parmi tant d'autres dans l'histoire de la pensée humaine ! — d'une certaine inertie mentale pour laquelle, d'ailleurs, on aurait bien tort de lui faire grief. Elle est un témoignage de l'influence profonde que l'œuvre grandiose de Kepler a exercée sur son esprit.

Peu importe, d'ailleurs, la valeur de cette théorie borellienne-keplérienne. Ce qui nous intéresse ici, c'est l'usage qu'en fera Borelli. Or, chose curieuse, c'est justement l'adoption de l'erreur keplérienne, supplémentée par une autre erreur concernant la nature de la force centrifuge, qui permettra à Borelli de déduire — ou du

moins de croire qu'il l'a fait — l'ellipticité des trajectoires planétaires à partir des principes de la mécanique galiléenne. C'est dans cette tentative — et dans son échec — que consiste le mérite historique et la valeur exemplaire de l'œuvre de Borelli. C'est vers son étude que nous allons nous tourner maintenant.

En effet, nous dit Borelli, nous ne sommes pas au bout de nos peines. Nous avons bien expliqué (1) pourquoi le mouvement de la planète, placée à des distances différentes du globe mondain qu'elle contourne, peut être effectué avec des vitesses différentes, réciproquement proportionnelles aux dites distances (2), il reste encore à montrer comment, et par quelle nécessité, les planètes se rapprochent et s'éloignent du globe qu'elles contournent, à savoir du Soleil ou de Jupiter. Or ceci sera le second élément dont le mouvement elliptique des planètes est composé. Afin de rendre compte de ces appropinquations et de ces éloignements Kepler a imaginé qu'une des faces de la planète [soit] amie du Soleil, et l'opposée, hostile, de la même manière que l'aimant a une partie qui attire le fer, et une autre qui le [re]pousse ; mais cette conception, si ingénieuse soit-elle, ne semble aucunement pouvoir être adaptée aux apparences des planètes, et de ce fait nous sommes forcés de l'abandonner, d'autant plus que la Nature peut produire ces effets par des moyens différents.

Borelli ne nous dit pas en quoi la théorie keplérienne ne s'accorde pas avec les « apparences », et, pour ma part, je doute fort que ce soit là la raison pour laquelle il se soit trouvé « forcé de l'abandonner ». Le fait est, plus simplement, qu'il ne l'avait jamais acceptée : une conception fondée sur l'existence, et l'action, de forces attractives et répulsives — même magnétiques — ne pouvait trouver grâce aux yeux du galiléen Borelli. Sa théorie, à lui, a justement l'avantage de se passer de ces forces magiques (3) et, par là même, de démontrer combien il était inutile d'en postuler l'existence.

La théorie keplérienne, malgré toutes ses faiblesses — faiblesses réelles dans l'analyse desquelles je ne peux pas entrer ici (4) —

(1) Borelli, *op. cit.*, pp. 64 sq.

(2) Borelli accepte le calcul — erroné — de Kepler selon lequel les vitesses des planètes sont inversement proportionnelles à la distance, c'est-à-dire au rayon-vecteur.

(3) Borelli, bien entendu, ne nie pas l'existence de forces magnétiques ; ni même la parenté de la gravité avec celles-ci : il parlera de la force magnétique ou quasi-magnétique de la gravitation sans scrupule. Mais il l'interprétera toujours comme une *tendance* et, de ce fait la considérera toujours comme *constante*.

(4) Telles, par exemple, le maintien de la direction constante de l'axe magnétique des planètes ; telle la structure impossible de l'aimant solaire avec un pôle au centre et l'autre à la surface, etc.

comprenait toutefois un élément d'une très grande valeur : elle soumettait les planètes à l'action de forces — attraction et répulsion — variables selon leur distance du Soleil. Tout au contraire, la gravité, ou tendance naturelle des planètes de se rapprocher du Soleil (ou des satellites, de leur corps central) est pour Borelli *une force constante* : pourquoi, en effet, une tendance se modifierait-elle avec la distance, plus ou moins grande, du but ? — Ainsi, c'est à partir d'un ensemble de forces constantes, produisant des effets constants, que Borelli entreprend de déduire la variété des mouvements sidéraux.

La solution borellienne est extrêmement simple et élégante et son principe pourrait se formuler comme suit : des forces constantes et égales, mais de sens contraire, produisent, généralement parlant, un état d'équilibre. Toutefois, lorsque l'équilibre se trouve rompu, et que l'une de ces forces est soumise à des variations périodiques, leur action aboutit à la production d'un état de déséquilibre contraire et équivalent, à partir duquel le processus recommence. Ainsi, par exemple, un poids suspendu à un fil ne se meut pas. Écartez-le de sa position verticale : il descend, mais ne s'arrête pas à la position antérieure : au contraire, il remonte à la même hauteur dont il était parti. Après quoi le processus recommence, et se reproduirait éternellement si les résistances retardatrices étaient entièrement supprimées. Plongez un cylindre de bois dans un vase plein d'eau : dans une certaine position il y sera en équilibre et s'y tiendra en repos en étant, partiellement, au-dessous, et partiellement, au-dessus du niveau de l'eau. Surélevez-le au-dessus de sa position d'équilibre : il commencera à descendre, mais arrivé à la position d'équilibre, il ne s'y arrêtera pas. Au contraire, il continuera sa descente jusqu'à ce qu'il n'atteigne une situation de déséquilibre analogue et équivalente (mais de sens contraire) à celle dont il était parti.

L'explication de ces phénomènes est tout à fait claire : chaque mobile, en descendant jusqu'à la position d'équilibre, acquiert un degré de vitesse capable de le ramener à la hauteur dont il était parti, ce qui veut dire, capable de surmonter une résistance équivalente. Ainsi le pendule surmonte la résistance opposée par la gravité à son mouvement ascendant, et le cylindre de bois, celle de la pression de l'eau qui le pousse vers le haut. Le mouvement, dans les deux cas, ne s'arrête que lorsque la vitesse acquise est entièrement absorbée par la résistance, c'est-à-dire lorsqu'une situation de désé-

quilibre nouvelle (mais équivalente à celle du point de départ) est atteinte. Alors la pesanteur agit à nouveau librement sur le pendule, qui redescend (et remonte à la position initiale) ; alors la pression de l'eau repousse vers le haut le cylindre qui, grâce à la vitesse acquise dans cette remontée, ne s'arrêtera pas, non plus, à la position d'équilibre mais, continuant son mouvement d'ascension, arrivera à la position initiale d'où il était parti (fig. 5).

Il est clair, au surplus, que pendant que le pendule, ou le cylindre de bois, exécutent ainsi leurs va-et-vient, leurs vitesses ne demeurent pas constantes, mais varient constamment, d'un instant à l'autre, et ce en augmentant d'abord, de zéro jusqu'à un certain *maximum*, et de là en diminuant ensuite jusqu'à zéro.

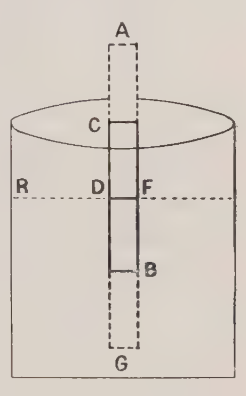


Fig. 5

Or, c'est là justement ce qui se passe aussi dans les mouvements planétaires. Là aussi nous avons affaire à des forces opposées — la force de la pesanteur et la force centrifuge — dont le déséquilibre initial se perpétue et se reproduit éternellement en vertu de simples principes mécaniques : les principes mêmes qui sont en jeu dans n'importe quel mouvement. La trajectoire elliptique des planètes n'en est qu'une conséquence rigoureusement nécessaire.

Borelli est très fier de sa découverte, ce qu'on comprend sans peine, surtout si on l'envisage *a parte ante* et non *a parte post* et la compare non pas aux solutions de Hooke et de Newton, mais à celles d'un Bouillaud et d'un Roberval. Borelli estime même — comme le feront plus tard Newton et Leibniz — que la réduction de la physique céleste à la physique terrestre, la mécanisation de l'astronomie, n'est aucunement dangereuse du point de vue religieux : au contraire, en nous dévoilant la perfection de l'œuvre, elle nous révèle la suprême perfection et la suprême sagesse de l'Architecte Divin. Aussi écrit-il (1) :

Il me semble que c'est avec de bonnes raisons que les philosophes louent ce passage d'Aristote dans lequel il étudie avec quelle ingéniosité et quelle sagesse s'accomplissent les fonctions animales, telles que la

(1) Borelli, *op. cit.*, pp. 74 sq., cap. III : (De la nécessité de la forme elliptique des orbes planétaires.)

digestion des nourritures ; l'élaboration du chile, du sang et des esprits ; leur distribution par les lieux dus ; la propagation de l'espèce ; qui, toutes, se font pour des fins déterminées par un art et une intelligence suprêmes et mystérieux. Le philosophe dit, en effet, qu'il n'est pas nécessaire que la faculté animastique soit intelligente et architectonique et qu'elle accomplisse son œuvre dans chacune des parties de l'animal, mais qu'il suffit qu'elle produise ses opérations de la même manière dont elles se font dans une République bien et sagement ordonnée : dans celle-ci il n'est pas nécessaire que le prince et le législateur suprême, ainsi que le magistrat et les juges, accomplissent et exécutent, eux-mêmes et dans tous les lieux, tout ce qui est prescrit par eux ; mais il suffit qu'ils disposent partout des moyens et des instruments avec un ordre et une sagesse tels qu'ils puissent opérer d'eux-mêmes et se conformer à l'ordre établi. Nous dirons donc quelque chose de semblable de l'ordre admirable dont est mue et dirigée la machine [céleste]. Il n'est certes pas douteux qu'un art suprême et admirable se découvre dans le mouvement des planètes, puisque celui-ci est la partie principale de la République du monde disposée et établie en un ordre merveilleux par la sagesse infinie de l'Architecte divin ; et cependant il ne semble pas nécessaire que des esprits, des intelligences ou des âmes produisent partout les mouvements qu'il a lui-même prescrits, et pour ainsi dire qu'ils conduisent par la main les globes des astres ; car, au contraire, l'Architecte divin a pu ordonner et disposer toutes les choses avec tant d'artifice merveilleux, que, ceci fait, elles se conforment aux ordres divins sans aucune hésitation ou déviation avec son seul concours général ; ce qui me paraît plus digne de la sagesse infinie. En effet, on a besoin de plus d'intelligence et de plus d'art pour la construction d'une machine se mouvant [elle-même] que d'une [machine] inerte. Ainsi, s'il y avait deux architectes dont un aurait disposé sa machine avec des roues différentes poussées par la force des poids avec un tel artifice qu'elle marque les temps, montre le cours du Soleil et de la Lune et, à l'aide d'instruments musicaux, exécute diverses symphonies et autres choses semblables ; tandis que la machine de l'autre accomplirait tout à fait la même chose, non pas automatiquement, mais par l'opération et le travail des serviteurs, qui, à chaque instant, marqueraient les heures de leurs propres mains, traceraient le cours du Soleil et de la Lune, et feraient de la musique à l'aide du son et de la voix ; il n'y aurait sans doute personne qui n'estimerait que l'œuvre du premier architecte l'emporte par la sagesse et l'ingéniosité, et si nous sachions de science sûre que l'architecte [de la deuxième] est le plus sage et le plus perspicace, nous le taxerions, certes, de négligence, en voyant que sa machine est tellement inerte qu'elle a besoin de l'assistance et de l'impulsion constante des serviteurs, et qu'elle ne peut pas opérer d'elle-même. De la même manière, donc, puisque nous avons admis que ce très bel ouvrage du Monde a été fabriqué par le

meilleur, le plus grand et le plus sage Artiste, et que, d'autre part, il est clair que les mouvements des planètes ont pu être disposés avec tant d'industrie et d'artifice qu'ils s'accomplissent d'eux-mêmes comme une horloge (1), il semble tout à fait incroyable et absurde que l'Architecte divin ait voulu opérer avec moins d'art, c'est-à-dire en faisant des planètes tout à fait inertes, qui auraient besoin de guides et qui devraient être poussées sur leurs propres orbes par les mains des serviteurs. En vérité, si un tel raisonnement ne souriait pas aux plus doctes, je ne serais pas celui qui voudrais défendre mon opinion à tout prix (2), mais il me sera suffisant d'avoir indiqué (en demeurant à l'intérieur des limites du raisonnement naturel) une manière facile et possible d'ordonner les tourbillons des planètes avec tous les artifices qui s'observent en eux.

Que l'on conçoive donc le globe solaire qui tourne sur son axe propre de l'Occident en Orient, en S, puis le corps d'une planète en A, qui, d'un instinct naturel, tend à s'approcher du Soleil d'un mouvement droit, ainsi que nous voyons tous les graves avoir l'instinct naturel de s'approcher de notre Terre, à savoir, poussés par la force de la gravité conaturelle à eux, et [que nous voyons] le fer se mouvoir en ligne droite vers l'aimant (3). Ce pourquoi il ne serait pas impossible que le corps de la planète ait une certaine faculté, semblable à la faculté magnétique, par le moyen de laquelle il se meut vers le globe solaire ; et, en fait, comme nous voyons [que] la planète jamais ne quitte le Soleil, ni ne s'éloigne de ses confins au-delà d'un certain espace déterminé, ceci semble montrer plus que suffisamment qu'elle est retenue par une telle vertu magnétique, qui, d'ailleurs, ne peut être reçue [dans la planète] à moins que nous ne concevions en même temps que la planète possède un certain instinct naturel de s'unir à, et de se mouvoir vers, le Soleil (4) : or donc, ceci sera le premier élément dont doit être composée la révolution excentrique des planètes.

En deuxième lieu, nous supposerons que la planète susdite est portée dans l'orbe autour du Soleil par le tourbillon des rayons solaires de l'Occident en Orient par la périphérie des cercles ; et parce que, ainsi qu'il a été dit, le mouvement circulaire imprime naturellement au mobile un certain *impetus*, par lequel il s'éloigne du centre, et en est repoussé, ainsi qu'on peut l'observer dans une fronde ou une roue, il s'ensuit que, comme

(1) La comparaison de la *machina mundi* avec une horloge semble provenir de Kepler.

(2) Borelli est prudent. N'oublions pas que Riccioli avait proclamé en 1651, et maintenu en 1665, que la croyance aux intelligences motrices était conforme à l'Écriture Sainte.

(3) Il est caractéristique pour Borelli — et révélateur de la profondeur de son aversion pour la notion d'attraction — de ne pas dire : le fer est *attiré par* l'aimant, mais : le fer *se meut vers* l'aimant. Cf. *supra*, p. 112, n. 2.

(4) L'instinct naturel des planètes de s'unir au Soleil, et de se mouvoir vers lui, est admis par GALILÉE, cf. *supra*, p. 113, n. 1. Il ne l'est pas par Kepler. Ceci parce que pour Kepler (comme pour Copernic) il y a une différence qualitative profonde entre la nature du Soleil et celle des planètes. Tandis qu'il n'y en a plus, ou presque plus, pour Galilée et les Galiléens.

la planète susdite se meut circulairement, elle s'éloignera du centre du Soleil S (1). De plus une telle répulsion se fera avec un *impetus* plus grand ou moindre, selon que la circumduction de la planète sera plus ou moins rapide ; et en vérité, ainsi que nous l'avons insinué plus haut, cette circumduction est d'autant plus rapide que la planète est plus proche du Soleil. Donc tant qu'elle demeure dans le lieu le plus haut et le plus distant, A, cette force ou cet *impetus* de s'éloigner du Soleil est extrêmement faible. Mais lorsque la planète s'approche du Soleil [et arrive] au point B, sa révolution circulaire devient plus rapide, et de ce fait, elle est repoussée du Soleil vers A par un *impetus* plus grand. De par la même raison, lorsqu'elle sera parvenue au point C, elle sera repoussée du Soleil par une force plus grande ; [et cette force de répulsion sera] plus grande encore dans le point D, et atteindra son maximum dans le point E. Or ici il y aura deux mouvements droits contraires entre eux : l'un perpétuel et uniforme, par lequel la planète A poussée par sa propre vertu magnétique, qui lui est conaturelle, se rapproche progressivement du corps solaire (2), l'autre, par contre, difforme et continuellement décroissant, par lequel la planète est repoussée du Soleil par la force du mouvement circulaire ; [cette répulsion sera] particulièrement forte en E, moyenne en C et insensible en A. Ainsi, comme nous l'avons démontré plus haut, de la composition des dits mouvements résultent une certaine force et un *impetus* composé, dont dépend la période [variation] de la vitesse acquise par la planète, qui, du terme le plus lointain A, jusqu'au plus proche E, augmente dans la même proportion dans laquelle diminuent les distances (3). Supposons donc [que] la force de se rapprocher soit égale à la vertu par laquelle elle est éloignée du Soleil, ce qui, en effet, se réalise dans [le point] intermédiaire C. Si donc nous concevions que l'Auteur de la Nature aurait au commencement placé la planète dans le point C, là certes la force mouvante (poussante) en vertu de laquelle la planète s'approche du Soleil, serait exactement égale à la vertu répulsive par laquelle elle est éloignée

(1) L'introduction de forces centrifuges dans le ciel, c'est là la grande innovation de Borelli. Elle implique l'infinitisation de l'Univers, dont Borelli, bien entendu ne dit pas un mot.

(2) Le *raisonnement* de Borelli oppose l'action d'une force constante — la gravitation — à celle d'une force variable — la force centrifuge ; mais le langage dans lequel il est exprimé semble, une fois de plus, admettre la proportionnalité de la force mouvante et de la vitesse et impliquer une vitesse constante du rapprochement (de la chute) de la planète au Soleil. Or, bien que Borelli néglige d'en parler ici, il sait bien (cf. p. 131) qu'il s'agit, en fait, d'un mouvement non-uniforme, accéléré au début, et retardé ensuite.

(3) La conception que Borelli se fait de la nature des forces centrifuges est très imparfaite, ainsi qu'on le voit. La force centrifuge est conçue par lui comme inversement proportionnelle à la distance (au rayon-vecteur), non pas dans le cas d'une vitesse linéaire constante (ce qui serait juste), mais dans le cas où la vitesse elle-même varie dans cette proportion-là. Ceci parce que la force centrifuge lui semble être proportionnelle à la vitesse, ce qui d'ailleurs lui paraît assurer d'une manière parfaite l'équilibre du système.

du Soleil, [vertu] qui provient du tourbillon circulaire CGL. Par conséquent la planète [placée] dans une telle situation y demeurerait perpétuellement, et serait portée par la circonférence du cercle CGLN autour du centre solaire S ; et ce mouvement serait uniforme, à savoir, dans des temps égaux il traverserait des arcs égaux de son cercle. Et ceci serait nécessaire, parce que la vertu poussante de la planète ne pourrait surmonter la vertu contraire repoussante, et non plus ne pourrait être vaincue par elle. Or si ces vertus étaient égales (comme nous l'avons supposé) il en résulterait que la planète C, bien que placée dans l'éther le plus fluide et n'offrant aucune résistance, ne pourrait jamais vaciller, ni s'écarter de la périphérie du cercle CGLN, mais persévérerait dans ce mouvement avec une constance parfaite, comme si elle était attachée à un orbe solide, ou nageait dans un océan sphérique ; et parce que toutes les vertus motrices sont supposées agir perpétuellement de la même manière, il n'y aurait aucune raison pour laquelle cette révolution se ralentirait, ou s'écarterait du cours initial, et de ce fait il serait nécessaire que perpétuellement elle accomplisse ses propres circuits autour du Soleil (fig. 6).

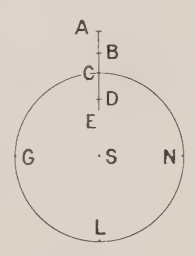
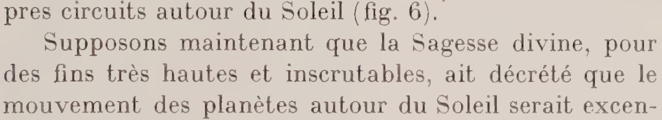


Fig. 6



Supposons maintenant que la Sagesse divine, pour des fins très hautes et inscrutables, ait décrété que le mouvement des planètes autour du Soleil serait excentrique et de figure non circulaire, mais elliptique. [Ceci pourrait être réalisé] avec une suprême économie, car rien d'autre ne serait nécessaire que de créer et de placer la planète dès le début, non dans le point C, mais dans le point le plus éloigné A (1). De ce fait seul, automatiquement, s'ensuivra la révolution excentrique et elliptique de cette planète autour du Soleil (2). En effet, ainsi qu'il a été dit, la vertu motrice de la planète dans A est composée de l'impulsion circulaire, [du degré] de la vertu poussante uniforme et [du degré] de la plus faible vertu repoussante (3) ; donc par suite de l'excès de la vertu poussante sur la repoussante (4), la planète doit se rapprocher du Soleil ; ce pourquoi dans tous les instants postérieurs du temps, la dite planète [en se mouvant] dans son tourbillon circulaire se rapprochera de plus en plus du Soleil. Il est par conséquent impossible que le corps de la planète, pendant un temps indéterminé, par exemple AB, se meuve par la même périphérie circulaire AR,

(1) Ainsi que nous l'avons vu, d'une situation de déséquilibre résulte un mouvement oscillatoire qui recrée la situation initiale et se perpétue de ce fait indéfiniment.

(2) Borelli se trompe : pour que cet effet s'ensuive, il faut que Dieu ne se borne pas à placer la planète dans le point A, mais qu'il lui confère, en plus, une vitesse latérale appropriée.

(3) Vertu repoussante = force centrifuge.

(4) Excès de la vertu poussante sur la repoussante = excès de la force de gravitation sur la force centrifuge.

mais il faut qu'il passe d'un cercle plus grand à un plus petit, jusqu'à ce qu'il parvienne en F. De par la même raison, [lors du mouvement] dans le cercle BF, pendant le temps suivant BC, la force pressante, restée plus grande, bien que d'un excès moindre que la vertu repoussante, continuement poussera la planète vers le Soleil (1) ; ce pourquoi au départ de F [elle] ne pourra continuer son mouvement par le cercle FX, mais il lui faudra passer à d'autres cercles, moindres et moindres, jusqu'à ce qu'elle parvienne au terme G du cercle CG, qui se trouve à mi-chemin du Soleil. Or, ainsi qu'il a été dit, dans la descente AC la planète acquiert des degrés nouveaux et nouveaux de vitesse qui, indélébilement, demeurent en elle (2) ; et de ce fait, même si la vertu poussante s'évanouissait complètement, et était réduite à rien, et en conséquence ne pouvait plus agir, la planète ne s'arrêtera pas en G, mais comme les degrés de célérité acquis dans la descente excéderont la vertu repoussante, elle se rapprochera encore du Soleil en continuant sa progression vers lui (3). Ce pourquoi la planète ne se mouvra pas par la circonférence GT, mais par d'autres, plus petites, jusqu'à ce que, à la fin du temps CD, elle ne parvienne en H, d'où comme une certaine partie de la vertu impresse acquise dans la descente est toujours pleine de force, elle s'avancera encore, d'un mouvement plus lent toutefois, vers le Soleil (4) ; ce pourquoi elle ne parcourra pas la périphérie HV, mais d'autres, plus petites et encore plus petites que celles-ci, jusqu'à ce que, tout *impetus* étant complètement épuisé, et, à cause de cela, tout rapprochement cessant la planète arrive jusqu'au périhélie P (5) ; mais ici, par suite de la très grande célérité (6) de la planète sur un très

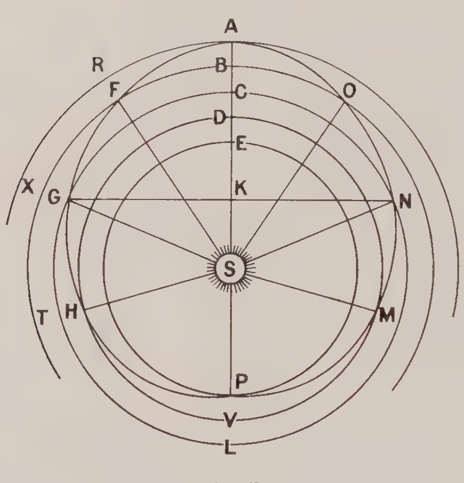


Fig. 7

(1) La force centrifuge augmente mais n'arrive pas à contrebalancer la gravité naturelle.

(2) De même que dans le cas du pendule, la vitesse acquise lors de la descente, ou plus exactement, *les vitesses* acquises pendant la descente.

(3) De même que le pendule ne s'arrête pas à la position verticale, ou le cylindre de bois à la situation d'équilibre.

(4) Vertu impresse, *impetus* ne sont rien d'autre que le mouvement et la vitesse eux-mêmes, cf. *supra*, p. 123 sq.

(5) Lors de ce rapprochement la vitesse linéaire de la planète autour du Soleil augmente toujours, et, de ce fait, la force centrifuge augmente également.

(6) Dans le périhélie la situation initiale est renversée : la force centrifuge est plus

petit cercle, la très grande force repoussante commence à agir, et ce pourquoi dans le temps ED la planète progresse en arrière par des cercles toujours plus grands, de telle façon qu'elle arrive de nouveau en N, puis en O et revient enfin au terme suprême A. Mais il est clair, de ce qui a été démontré, que non seulement les angles HSP et PSM doivent être égaux, mais encore les reculs (rémotions) SH et SM [doivent] également [être] égaux entre eux, et tout à fait la même chose s'effectue en G, en N, en P et O (fig. 7).

Ainsi à la force constante de la gravité est opposée la force variable de la répulsion centrifuge, et de ce fait le déséquilibre initial produit un mouvement par lequel il se recrée. Mais la trajectoire décrite sera-t-elle elliptique ? Borelli le croit, et l'on comprend bien pourquoi. C'est que, d'une part, il est incapable d'effectuer le calcul de la trajectoire qui résulterait effectivement des hypothèses qu'il admet (1) ; c'est que, d'autre part, il a si bien calqué sa théorie sur celle de Kepler qu'il est, non sans raison, fermement persuadé de leur équivalence parfaite. En effet, dans les deux théories les vitesses (linéaires) des planètes sont inversement proportionnelles à leurs distances du Soleil ; ce qui, selon l'analyse keplérienne, est la condition nécessaire, et suffisante, du caractère elliptique de leurs trajectoires. Quant aux distances elles-mêmes, qu'on les fasse varier en fonction de l'action combinée des forces magnétiques d'attraction et de répulsion, ou de celles, combinées également, de la gravité naturelle (constante) et de la force centrifuge, variable, comme la vitesse, réciproquement à la distance, cela ne change rien à l'économie du système. Si Kepler a raison, Borelli a raison également. Mais, que Kepler — comme mathématicien — a raison, c'est certain, puisque Bouillaud lui-même, qui a si vivement et si pertinemment critiqué la mécanique céleste de Kepler, prend les analyses kepleriennes pour base de sa théorie (2). Or, mathématiquement, les doctrines de Bouillaud et de Borelli sont équivalentes. Mais tandis que la première n'est qu'une cinématique, la deuxième, conclut triomphalement Borelli, est une dynamique véritable (3).

grande que la force centripète de la gravité ; un déséquilibre, équivalent et de sens contraire à celui du début, est ainsi créé et le mouvement oscillatoire recommence en parcourant les mêmes phases dans le sens inverse.

(1) Ne le lui reprochons pas : ce calcul est très difficile et n'a pas pu être effectué même par Newton.

(2) Borelli a une très grande admiration pour Boulliaud, dont le talent mathématique est certainement supérieur au sien.

(3) Borelli, *op. cit.*, p. 80.

Pauvre Borelli ! il était vraiment sur le chemin de la grande découverte... S'il n'a pas pu la faire et arriver au point que Hooke avait atteint en cette même année 1665 dans laquelle il composait sa *Théorie des planètes médicéennes*, c'est qu'il a été aveuglé par la clarté galiléenne et n'a pas su reconnaître dans l'œuvre de Kepler les germes féconds d'une théorie de la pesanteur. Il a répudié la notion d'attraction et, avec Galilée, s'en est tenu au *fait* de la gravité. Il a aussi renoncé à toute théorie dépassant le fait brut, expérientiel, et s'est par là même barré le chemin du progrès. Il nous a ainsi donné une leçon : trop de scrupules conduisent, parfois, à l'échec, et le renoncement prudent à la théorie, dans l'impasse.

Alexandre Koyré.

Descartes et Einstein*

Descartes déclarait qu'il n'avait pas cherché à résoudre tous les grands problèmes des mathématiques parce qu'il fallait bien laisser quelque travail à ses petits-neveux. C'est de l'un de ces petits-neveux, Einstein, que je voudrais évoquer la figure ici, en la comparant à celle de son ancêtre, Descartes. Nous passerons en revue les rencontres de ces deux grands esprits sur le terrain de la science et nous ne tarderons pas à constater, que ces rencontres ne sont pas fortuites, qu'elles vont au delà d'un parallèle purement académique et qu'elles dénotent un accord philosophique plus profond.

En cherchant les points de contact d'Einstein et de Descartes, je n'ai pas voulu cependant « faire partout des dénombrements si entiers et des revues si générales que je fusse assuré de ne rien omettre ». Je me contenterai de mettre en lumière les points qui me semblent capitaux.

LA GÉOMÉTRIE : RÉFÉRENTIELS ET TENSEURS

C'est sur le terrain de la description des formes et des mouvements qu'il semble le plus naturel d'amorcer la confrontation de ces deux savants. La révolution einsteinienne comporte à son point de départ une discussion critique du cadre que Descartes a proposé à la physique, nous voulons parler de la notion de référentiel (1) qui, chez Descartes, prend la forme particulière d'un système d'axes de coordonnées rectangulaires.

Notons d'abord qu'Einstein approuve et apprécie le référentiel cartésien et son système de coordonnées. Dans un passage de son livre *Comment je vois le monde*, Einstein explique que c'est, en quelque sorte, la démocratisation de la géométrie qui lui a paru intéressante dans la révolution cartésienne.

* Conférence faite au Centre International de Synthèse, le 9 mars 1950.

(1) J'emploie évidemment ici un mot que Descartes n'employait pas.

Jusqu'à Descartes, nous dit-il, il y avait une sorte de conception hiérarchique et aristocratique des figures, certaines d'entre elles — les figures simples des Grecs — ayant pour ainsi dire plus de « mérite » que d'autres. A partir de la révolution cartésienne, toutes les figures se valent. Il y a une sorte d'égalité devant la loi, exprimée par la correspondance des équations et des figures.

Mais Einstein, qui avait été frappé par ce fait historique, ne s'est pas contenté d'approuver et d'apprécier la révolution carté-

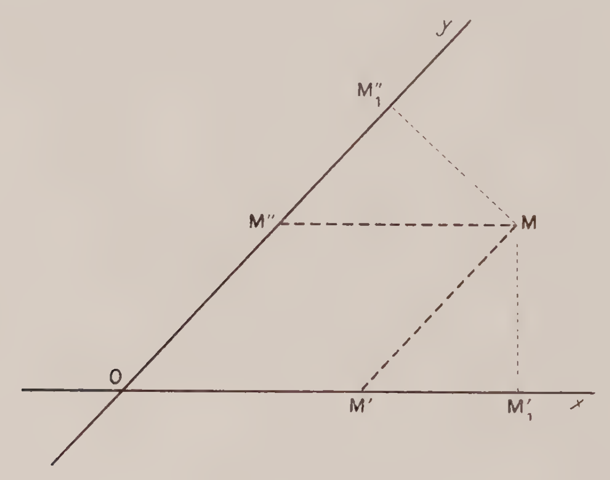


Fig. 1

sienne ; il l'a élargie en introduisant une distinction entre la notion de covariance et celle de contrevariance, alors que Descartes ne connaissait que la notion de variance.

On peut donner une idée, insuffisamment générale, mais concrète et facilement compréhensible, de ces nouvelles notions en échangeant les axes rectangulaires de Descartes pour des axes obliques. Pour simplifier, nous nous en tiendrons aux coordonnées dans le plan. Soit donc un référentiel formé de deux axes de coordonnées situées dans le même plan et inclinées l'une sur l'autre. Considérons un point quelconque M du plan ; nous pouvons imaginer deux moyens simples de repérer la position de ce point par rapport aux axes de coordonnées : ou bien, nous mènerons par ce point, des parallèles aux deux axes ; elles les rencontreront, disons en M′ et en M″, et les deux longueurs OM′ et OM″ seront les deux coordonnées du point M ; ou bien nous abaisserons des perpendiculaires sur

ces deux axes : elles les rencontreront en M'_1 et M''_1, et les deux longueurs OM'_1 et OM''_1 définiront deux autres coordonnées. Lorsqu'on a affaire à des axes rectangulaires, les deux systèmes se confondent. Il n'en est pas de même lorsque les coordonnées sont obliques. Les deux systèmes se comporteront différemment si l'on change l'unité de longueur. Le premier est dit *covariant*, le second *contrevariant*. Le recours à l'un ou l'autre de ces deux systèmes de coordonnées donne aux physiciens des moyens de représentation des phénomènes d'une bien plus grande variété que dans le simple système cartésien (1). Nul doute que si Descartes avait connu la possibilité d'expression en coordonnées covariantes ou contrevariantes, il en aurait immédiatement apprécié l'intérêt, de la même manière qu'Einstein a apprécié la révolution cartésienne.

Einstein ne s'est pas contenté d'analyser, de disséquer cette notion de variance cartésienne en y faisant appel à deux types de variances différents ; il a considérablement élargi le référentiel cartésien, et l'a conduit à son maximum de plasticité par une idée digne de celle de Descartes : celle des « coordonnées-pieuvres ». Le terme, comme l'idée, est d'Einstein lui-même. Il définit le référentiel que l'on obtiendrait en transformant les deux axes rigides des coordonnées cartésiennes en tentacules flexibles. Un tel système, qui semble relever du surréalisme plutôt que de la physique, ne présenterait d'intérêt que s'il conservait quelque chose de stable. C'est précisément ce qu'il fait, comme Einstein a su le montrer. Voici comment.

Traçons sur une feuille de papier, outre les deux axes de coordonnées rectangulaires, un graphique quelconque, représentant un phénomène, ou une figure. Chiffonnons ensuite la feuille sur laquelle se trouve ce graphique ; après cette opération, qui donnera une allure quelque peu irrégulière aux axes de Descartes, il restera néanmoins, indépendantes du chiffonnage, quelques relations de la figure initiale valables encore dans la figure chiffonnée. Par exemple, un point situé entre deux autres points sur une ligne de la feuille plate conservera cette propriété sur la feuille chiffonnée. C'est cette vérité, indépendante du chiffonnage des axes cartésiens, qu'Einstein a su dégager avec cette notion de « coordonnées-pieuvres », qu'il a aussi quelquefois appelée « Référentiels mollusques ».

(1) Einstein n'est pas l'inventeur de cette distinction, mais ses théories lui ont assuré un large emploi.

Ainsi, partant de la conception cartésienne, Einstein a réussi à la développer à la taille de notre époque. Elle convient à une mécanique dans laquelle l'espace colle en quelque sorte aux objets, à une physique dans laquelle c'est la matière qui définit et qui déforme l'espace.

Ce n'est pas tout. Einstein a encore aidé à préciser la validité de l'emploi des référentiels cartésiens. Il y avait, en effet, un revers à la médaille. A côté d'authentiques bienfaits, la révolution cartésienne avait introduit un germe de malentendus. A force de n'étudier les propriétés des figures ou l'allure des phénomènes qu'au travers des axes de coordonnées, on finit par ne plus toujours savoir bien séparer les échafaudages des édifices, c'est-à-dire les référentiels de leurs contenus. Les expressions cartésiennes, en traduisant en symboles algébriques des formes géométriques, retiennent certaines propriétés qui viennent non des figures, mais des référentiels. Il importe de savoir faire la part de l'instrument dans la description de l'observation. On doit à Einstein de nous avoir appris, non seulement à mieux nous servir de la méthode des référentiels, mais encore à savoir nous en dégager pour atteindre des Invariants ; je fais allusion ici à cette grande révolution des mathématiques et de la physique moderne, le Calcul tensoriel (1). Découvert, ou plutôt pressenti au XIXe siècle par Riemann et par Christoffel, retrouvé en physique par Voigt, le calcul tensoriel a été amené au point de perfection où il se trouve maintenant par Ricci et Lévi Civita, au début de ce siècle. C'est Einstein qui lui a ouvert les portes de la physique (2).

En nous permettant d'atteindre l'invariance dans l'étude des phénomènes naturels, les Tenseurs représentent, dans une certaine mesure, le moyen de s'évader des référentiels cartésiens. Nul doute que Descartes, le premier, aurait admiré cette libération.

MÉCANIQUE : LA NATURE DU MOUVEMENT

Comme Descartes, Einstein ne s'est pas contenté de se pencher sur la description des formes et des déplacements. Les deux savants se sont également préoccupés de la nature du mouvement.

(1) Voir la note en fin de cet article.

(2) Nous n'évoquerons pas ici l'invention, par Cesaro, des « Coordonnées intrinsèques ». Elle représente une tentative techniquement différente mais qui procède du même désir de lever l'hypothèque de coordonnées étrangères à la figure étudiée.

Pour Descartes, le mouvement est le transport d'un corps, du voisinage de ce qui le touche immédiatement, dans le voisinage des autres corps. Cette définition a suscité des querelles sans fin, avec Leibniz en particulier ; quelque intéressantes qu'elles soient, elles nous écarteraient de notre propos. Il est certain que, dans le mouvement, Descartes voit le déplacement. La mécanique se ramène pour lui à la cinématique et il la couronne par le Principe de Relativité Classique. Ce Principe, qui est maintenant monnaie courante en mécanique élémentaire, et que l'on baptise souvent : « Principe de Relativité Galiléenne » (1) se trouve clairement formulé dans les énoncés ci-après que nous extrayons des *Principia Philosophiae* en les reproduisant sans autre changement que l'emploi de la notation moderne :

Dire qu'un corps AB se meut par rapport à CD revient au même que dire que CD se meut par rapport à AB.

Et encore : *Un même corps peut être considéré comme en mouvement ou au repos selon le repère que l'on adopte.*

En vieillissant, les révolutions triomphantes finissent par se transformer en traditions ; elles n'ont pas alors de plus farouches défenseurs que les héritiers spirituels de leurs adversaires du début. La Relativité cartésienne avait perdu depuis longtemps son caractère agressif lorsque la Relativité restreinte et la Relativité générale briguèrent sa succession. Le Principe de Relativité restreinte signifiait en un sens la ruine du Principe de Relativité cartésienne, comme d'ailleurs le Principe de Relativité générale signifie la ruine du Principe de Relativité restreinte. Ce serait toutefois bien mal comprendre le dynamisme du progrès scientifique que de n'apercevoir qu'une cascade de négations, là où il convient d'admirer des élargissements successifs. Einstein est, sur ce point, beaucoup plus le continuateur de Descartes que son adversaire.

***

Autre importante notion pour comprendre la pensée de Descartes : celle de quantité de mouvement, qu'il a mise presque au centre de sa philosophie mécanique. Descartes nomma *quantité de mouvement* ce qu'on appelle encore de nos jours très souvent

(1) Nous renvoyons pour ces questions aux travaux de M. Koyré sur Galilée et sur Descartes.

l'*impulsion* ; c'est une grandeur mécanique qui se mesure par le produit d'une masse par une vitesse, c'est la quantité : MV.

Pourquoi Descartes accorde-t-il tant d'attention à cette notion ? On sait qu'il recherchait — en vertu d'une propension de son esprit, que nous allons retrouver chez Einstein — ce qui, au sein des changements, ne change pas. La quantité de mouvement l'intéressa parce qu'il crut voir en elle quelque chose qui se conservait dans le monde. Il posa, en effet, comme principe que la quantité de mouvement qui existe dans l'univers est constante. Les objets se déplacent, et quand un objet s'arrête, il y en aurait un autre qui se mettrait en mouvement, de telle manière qu'il y aurait toujours la même quantité de mouvement dans le monde.

Leibniz, plus tard, contesta la thèse cartésienne en lui opposant une autre notion douée de la même précieuse vertu d'invariance : l'énergie. En fait, Leibniz a triomphé sur ce point. Nous savons maintenant que la quantité de mouvement qui est dans l'univers ne se conserve pas, et que, ce qui se conserve, c'est la quantité d'énergie, sous une réserve que je vais effleurer dans un instant (1). La quantité de mouvement de Descartes s'exprime par l'équation de constitution : MV et la quantité d'énergie de Leibniz par : MV^2. Dans ces deux expressions M représente une masse et V une vitesse.

La science moderne a départagé les deux rivaux en accordant une sphère d'influence à chacune de ces deux notions. Il est certain que c'est l'énergie qui se conserve dans l'univers et non la quantité de mouvement. A condition, toutefois, de corriger Leibniz et Mayer (2) par Einstein. Il a fallu élargir ce principe et admettre que ce qui se conserve, c'est cette chose qui peut tantôt prendre aspect d'énergie, tantôt prendre aspect de masse, et que nous appellerons : la masse-énergie. La quantité de mouvement, chère à Descartes, n'en a pas pour autant perdu toute importance. Elle ne se conserve pas dans l'univers entier, mais elle se conserve localement dans ce phénomène fondamental qu'est le choc. Quand il y a choc entre deux objets en mouvement, la quantité de mouvement totale après le choc reste la même qu'avant. D'où la nécessité, lorsqu'on étudie des chocs, de faire des bilans de quantité de mouvement. La

(1) N'oublions pas que lorsque Leibniz parle d'énergie il ne pense qu'à une forme purement mécanique de l'énergie, le travail mécanique.

(2) Mayer est le père du principe de la conservation de l'énergie.

science moderne a fait plus d'un progrès rien qu'en interprétant correctement des bilans de quantité de mouvement (1).

MÉCANIQUE : LA NOTION DE FORCE

Au terme de cette analyse du mouvement voici maintenant la notion de force.

Lorsque Descartes s'attaqua à cette question, il partait de la force d'inertie. En reprenant cette notion au point où l'avait laissée Galilée, en l'éclaircissant et en la mettant au point, il ne semble pas que Descartes ait pensé à une véritable force comme aux forces de gravitation, par exemple, que Newton devait introduire très peu de temps après dans la science. L'écart qui sépare la pensée newtonienne de la pensée cartésienne se cache ici derrière l'identité des mots. La force (d'inertie) c'est, pour Descartes, ce qui conserve la vitesse, alors que, pour Newton, la force (de gravitation) c'est ce qui change la vitesse. Pour Descartes, toutes les actions, c'est-à-dire tous les effets des forces, sont instantanées ; en somme, pour lui, les forces opèrent avec des vitesses infinies ; tandis que chez Einstein — qui, de ce point de vue, est un véritable continuateur de Newton — toutes les forces prennent du temps pour accomplir leurs effets. « *Si l'expérience sensible* — écrivait Descartes — *montrait un retard quelconque* (sous-entendu : dans l'action des forces), *toute ma philosophie serait détruite à fond.* » Quelques années plus tard, en 1675, Roemer, étudiant les satellites de Jupiter, trouvait le retard en question sans grand dommage pour la philosophie de Descartes.

En imposant la notion de force sous une forme que Descartes s'était efforcé d'effacer le plus possible, Newton fit reculer la pensée cartésienne. Il était donné à Einstein de renverser la situation en réduisant la gravitation à une torsion d'espace-temps. Ce faisant, il dépassait ses deux prédécesseurs et opérait la synthèse de leurs conceptions. Sans doute, maintenait-il contre Descartes la réalité de ces forces que le philosophe rationaliste répudiait parce qu'il n'y voyait que des qualités occultes. Mais il donnait une explication des forces, ce que Newton s'était toujours refusé à faire. Et il en rendait compte en les ramenant à des forces d'inerties

(1) C'est de cette interprétation — et aussi de celle de bilans énergétiques et de bilans de spins — qu'est sortie par exemple l'existence d'une particule dont on parle beaucoup de nos jours — quoique son existence soit encore hypothétique : le neutrino.

réduites elles-mêmes à n'être que des accidents de l'étendue. Quel triomphe, en définitive, pour Descartes, que cette géométrisation de Newton par Einstein !

Mais il est, sur la scène du monde, d'autres acteurs que la gravitation. Ce sont d'abord les forces électriques, à peine connues du temps de Descartes et de Newton et qui n'ont vraiment été explorées qu'à partir du XIXe siècle, avec Faraday et Maxwell ; ensuite les forces nucléaires — que l'on appelle encore les forces mésoniques — dont la découverte est toute récente. Dans le moment où Einstein réussissait à cartésianiser Newton, il devait se résigner à laisser ces nouvelles forces au moins provisoirement à l'écart de sa synthèse unificatrice. Sa constante préoccupation a été de mettre un terme à cette pluralité. Il y a plus de vingt ans — les mésons n'avaient pas encore été découverts — sa théorie du « Champ unitaire » tentait de réunir en une seule les théories de la gravitation et de l'électromagnétisme ; toutes les forces étaient réduites à des torsions de l'espace-temps. D'autres savants ont travaillé, dans le sillage d'Einstein, à cette géométrisation de la nature ; citons notamment la théorie des jauges d'univers, d'Hermann Weyl, et la théorie d'Eddington (1). « *En fait* — écrit M. Chevalier dans son ouvrage sur Descartes — *à l'heure actuelle, on est plus près de Descartes qu'on ne l'a jamais été, puisque les travaux d'Einstein et de ses disciples, s'ils doivent être définitivement acquis à la science, réduiront la physique à une pure géométrie et réaliseront le rêve cartésien d'un univers physique interprété tout entier en termes mathématiques* (2). »

Réalisera-t-on un jour le rêve de Descartes et d'Einstein d'unifier par la spatialisation les forces gravitationnelles, électromagnétiques et nucléaires ? Si cette question reçoit jamais une réponse, c'est de la science, de la science seule, qu'elle viendra.

PHYSIQUE : LA LUMIÈRE

La comparaison d'Einstein et de Descartes sur le terrain des explications de la lumière n'offre guère d'intérêt. En effet, contrairement à celles du mouvement et des forces, ces théories étaient encore embryonnaires au XVIIe siècle. Descartes, au fond, n'a connu que l'*optique géométrique*, optique à laquelle il a fait faire un grand

(1) On vient également de tenter la synthèse des champs électromagnétique et nucléaire.

(2) Je dirais plutôt, pour rester plus près de la pensée cartésienne : *en termes d'étendue.*

progrès, puisqu'il a éclairci les théories de la réfraction à la suite de Snellius. Pour Einstein, au contraire, c'est l'optique physique plutôt que l'optique géométrique, qui a été l'occasion de nombreux progrès. On peut même dire que c'est dans l'*optique physique* qu'Einstein a trouvé le point de départ de ses deux plus grandes découvertes ; car c'est à propos des interférences lumineuses qu'il a pu amorcer sa théorie de la Relativité restreinte, et c'est la théorie des rapports de la lumière et de l'électricité qui est à l'origine de sa conception des photons.

PHYSIQUE : L'ATOMISME

Autre différence entre les pensées cartésienne et einsteinienne : la question de l'atomisme. Descartes, nous le savons, répudiait l'atomisme au profit de sa Théorie des Tourbillons. Une telle position n'avait en son temps rien que de normal ; l'atomisme ne disposait pas d'arguments suffisamment basés sur des phénomènes concrets pour s'imposer ; il relevait autant sinon plus de la méditation philosophique que de l'expérience physique. En le répudiant, Descartes repoussait l'arithmétisation de la nature pour s'en tenir à sa géométrisation. Depuis Descartes, l'expérience a parlé en souveraine, d'abord avec Lavoisier, puis avec tout le XIXe siècle ; l'atomisme a triomphé non seulement dans la matière, mais aussi dans la lumière, et enfin dans l'énergie (1).

On ne peut plus de nos jours nier la réalité des atomes et, bien entendu, Einstein est atomiste. Il ne s'est d'ailleurs pas contenté de reconnaître la valeur de l'explication atomique ; il a travaillé à la consolider. Nous lui devons d'abord un travail qui est moins connu que ses autres grandes et géniales découvertes : la théorie des fluctuations. Forgée en 1905, cette théorie permet de rendre compte du mouvement brownien et du comportement des gaz et des fluides ; elle n'y parvient que parce que, précisément, la matière est divisée en atomes. Einstein, d'autre part, a contribué à faire triompher l'atomisme dans un domaine qui avait semblé pendant longtemps interdit à la discontinuité, le domaine de la lumière ; c'est à lui, en effet, que nous devons la découverte des photons ou atomes de lumière.

Ces diverses théories n'abordent pas la question de savoir

(1) Plus exactement dans l'action. Cette grandeur physique se définit au moyen du produit d'une énergie par un temps.

s'il subsiste, derrière les atomes de matière, de lumière ou d'action, une réalité spatiale sous-jacente. Einstein est resté sur le terrain de la science pure et n'a pas répondu à la question. Descartes, a dépassé cette attitude purement scientifique, mais s'il revenait parmi nous, nous ne doutons pas qu'il serait atomiste et, en possession des découvertes de Lavoisier, de Dalton, d'Avogadro ou de Jean Perrin, il est vraisemblable qu'il reprendrait l'étude de son morceau de cire d'un point de vue plus expérimental et moins métaphysique. Maintenant, en effet, nous savons interroger le morceau de cire, non en recourant au raisonnement *a priori* ou à l'observation commune, mais en faisant appel à l'expérience. De nos jours, Descartes ne disserterait plus à vide sur l'action de la chaleur, cette action qui fait perdre à un morceau de cire sa froideur, sa dureté, sa couleur, son odeur ; il préférerait s'adresser au laboratoire.

LE TEMPS

Dans sa théorie du Temps, Einstein a été plus original et est allé plus loin que Descartes. Il ne semble pas que Descartes se soit beaucoup préoccupé de cette notion, du moins en tant qu'homme de science. Einstein, au contraire, a d'abord spatialisé le temps. Il est probable que cette relativité du temps, ou plus exactement la théorie du temps local — illustrée par la parabole de l'obus de Langevin — aurait considérablement étonné Descartes.

LA SCIENCE

Ce n'est pas seulement dans leur vision de la nature, c'est aussi dans leur style scientifique qu'Einstein et Descartes s'apparentent. Ils se conduisent de la même manière dans cette région que je ne sais comment qualifier, qui n'est déjà plus de la science, pas encore de la métaphysique, qui penche vers cette dernière, mais qui adhère fortement à la science, comme la chair à l'os.

On peut être un très grand savant en se contentant de labourer dans des terrains déjà bien connus. Descartes et Einstein sont moins prudents. Ils appartiennent à la race des impatients et des audacieux. Ils ont été très violemment non conformistes, je ne dis pas dans leur vie, mais dans leurs pensées, dans leurs actes scientifiques. C'est l'allure même de leurs œuvres qui est révolutionnaire. Et c'est surtout dans l'idée qu'ils se font de la réalité et de

l'emprise de la science sur la réalité qu'ils se trouvent voisins l'un de l'autre.

Le vieux problème de l'alliance de la raison déductive et du recours à l'expérience s'est posé dans toute son ampleur, pour chacun d'eux. Certes, on ne peut pas faire de science en tournant le dos aux faits. La Science est avant tout soumission aux faits ; telle est la garantie de son infaillibilité ; Descartes et Einstein l'ont bien vu. Mais n'est-il pas évident qu'on ne pourrait pas faire de science si on n'écoutait pas sa pensée, en lui permettant, de temps en temps, de déborder les faits ? La science est raison active ; c'est là ce qui assure le plus clair de ses progrès. Aussi chaque physicien authentique se comporte-t-il selon son tempérament, en mettant en jeu une certaine proportion qui lui est personnelle, entre l'usage de la raison déductive et l'observation des faits ; ce dosage nous semble à peu près le même chez Descartes et Einstein, en tenant compte évidemment des trois siècles qui les séparent. Descartes cède plus largement qu'Einstein à un besoin d'apriorisme qui dépasse les limites autorisées par la science actuelle. Mais il n'en conserve pas moins une résolution d'adhérer à l'aposteriorisme. Chez Einstein, quoique plus discrètement que chez Descartes, le recours à l'expérience est moins impérieux que l'appel à la raison déductive. Ce caractère, d'ailleurs, s'est développé avec les années. En faisant l'historique de son œuvre depuis ses origines, en suivant à la trace le développement de sa pensée, on s'aperçoit que la tentation de s'écarter de l'expérience est devenue pour Einstein de plus en plus forte avec le temps, et que ses théories se sont fondées sur une déduction de plus en plus désincarnée. Les trois étapes de la construction relativiste einsteinienne sont, de ce point de vue, révélatrices.

C'est sur le terrain de l'expérience que la théorie de la Relativité restreinte a pris naissance. L'échec des tentatives faites, à la fin du XIX[e] siècle, par Michelson et par Morley pour mettre en évidence le mouvement de la Terre par rapport à l'éther électromagnétique, celui de cent autres physiciens pour repérer un mouvement absolu, conduisirent plusieurs savants, Fitzgerald, Lorentz, etc., à des solutions que le génie d'Einstein dépassa en les reprenant. Les discussions qui ont accompagné les premiers pas de la Théorie de la Relativité restreinte ont porté aussi largement sur des expériences que sur des raisonnements. Et c'est, en définitive, le verdict imposé par des milliers d'expériences, qui a assuré

le triomphe, maintenant incontesté, de cette merveilleuse théorie.

La Relativité générale a, elle aussi, une base expérimentale, mais, fait curieux, au contraire de la Relativité restreinte, qui est sortie d'expériences faites avant Einstein, elle est vraiment une création de la raison. Einstein a imaginé la Relativité générale en l'extrayant tout entière de ses méditations ; c'est seulement par la suite que sont venues quelques confirmations astronomiques. Aussi l'accord des savants sur ces théories est-il loin d'être unanime.

La théorie des Champs unitaires — que nous évoquions plus haut — est apparue quelques années après la Relativité générale. Aucune expérience vraiment probante n'est venue la corroborer. Elle reste un sujet de spéculation.

Ainsi Einstein suit sa vocation en réduisant de plus en plus la part de l'expérience et en augmentant de plus en plus celle de la déduction en tendant vers ce que nous serions tentés de nommer un apriorisme *a posteriori*. Il n'a jamais, cependant, dépassé les limites de validité de la science, quoiqu'on ait l'impression, parfois, qu'il soit fort tenté de le faire. Descartes, lui, il faut le dire, a dépassé ces limites ; il a mis dans son œuvre plus d'apriorisme qu'Einstein, il en a mis parfois trop — même en s'en tenant strictement au domaine de la science pure. Comment aurait-il résisté à cette tentation en un temps ou régnait la Raison — et souvent sa caricature ?

Enfin, Descartes et Einstein se rejoignent dans l'idée qu'ils se font du but de la science. L'un et l'autre, en somme, demandent à la science de nous montrer tout ce qui, dans le réel, est rationnel ; au contraire de bien des savants qui ne déplaisent pas de s'abîmer dans le réel — d'autres diraient même de s'y vautrer — seuls le rationnel et la quantité de rationnel que l'on peut trouver dans le réel, attirent Descartes et Einstein. L'un et l'autre ont cherché ce qu'on appelle, en langage moderne — et c'est un mot que Descartes aurait certainement adopté — des invariants. Pour Descartes, l'invariant était la quantité de mouvement ; pour Einstein, c'est l'intervalle d'univers. Mais ce qui intéresse l'un et l'autre, c'est ce qui ne change pas.

LE PROBLÈME SOCIAL ET LA GUERRE

On aimerait pouvoir poursuivre ce parallèle au delà de la Science et rapprocher les idées de Descartes et d'Einstein sur d'autres sujets, sur l'homme, sur la morale, sur la société, sur Dieu ; mais où

trouver les balances convenables pour entreprendre cette comparaison ? Cela n'est guère possible car, d'un côté nous nous trouvons en face d'un philosophe qui porte un masque, et de l'autre, d'un homme qui parle à visage découvert.

Si tout le monde est d'accord — malgré une certaine évolution de ce savant dans ses conceptions des problèmes de la guerre, des rapports de classes, de la religion, etc. — sur la véritable physionomie d'Einstein, il y a bien des Descartes. Chacun de nous possède le sien. J'ai l'impression que « mon » Descartes pense comme Einstein sur les grands problèmes de l'humanisme, de la morale et de la religion ; mais les bases de ma conviction sont trop fragiles pour mériter un développement qui resterait sujet à caution. Cependant, en dehors de toute tentative d'interprétation pour tirer Descartes ou Einstein dans un sens ou dans l'autre, on se rend compte que leurs attitudes à l'égard du problème social procèdent de conceptions analogues ; tous les deux sont ce que l'on appelle aujourd'hui des progressistes, des partisans de la liberté de pensée. L'un et l'autre ont dû fuir devant le fascisme ou ses équivalents de jadis. Descartes dut prendre des précautions lorsqu'il connut l'issue du procès de Galilée ; Einstein dut fuir les camps de concentration où mourut un prix Nobel. L'un et l'autre trouvèrent des refuges qui se révélèrent incertains pour l'un comme pour l'autre. Descartes alla en Hollande et en Suède, et nous savons que la reine Christine était quelquefois un peu brutale envers le grand philosophe, qu'elle protégeait, certes, mais qu'elle ne ménageait pas toujours. Lorsque Einstein est arrivé aux États-Unis, il n'y a pas non plus trouvé une tranquillité complète et il ne manque pas de journalistes pour demander son expulsion ou la censure de ses articles.

Enfin, tous les deux sont des pacifistes, des « pacifistes intégraux », dirait-on de nos jours. Ils ont condamné la guerre en des termes presque identiques. Quelques mois avant sa mort, Christine de Suède avait demandé à Descartes de composer un ballet pour célébrer le traité de Westphalie. Ce traité était le grand événement de l'époque. Dans ce ballet — qui s'appelait : *La naissance de la paix* — Descartes peignit les horreurs de la guerre. Voici en quels termes il fait parler un groupe de soldats estropiés :

Qui voit comment nous sommes faits
Et pense que la guerre est belle
Ou qu'elle vaut mieux que la paix
Est estropié de la cervelle.

Le style ne ravira peut-être pas les amateurs de poésie pure, mais l'idée est très nette et on peut penser qu'elle est juste.

Le ballet de Descartes n'est guère connu que des érudits et des spécialistes et il est vraisemblable qu'Einstein ne l'a pas lu. Voici cependant ce qu'il écrit, de son côté :

Je méprise profondément celui qui peut, avec plaisir, marcher en rang et formation, derrière une musique ; ce ne peut être que par erreur qu'il a reçu un cerveau ; une moelle épinière lui suffirait amplement.

C'est exactement la même image, la même comparaison que chez Descartes.

LA RAISON

Une étude un peu approfondie de Descartes ou d'Einstein aurait, bien entendu, à tenir compte non seulement de leurs ressemblances, mais encore de leurs différences. Ces différences qui intéressent le biographe et l'historien des idées sont nombreuses. Une thèse sur Descartes ou sur Einstein devrait évidemment pour rendre compte de ces nuances plonger ces grands hommes dans leurs milieux ; elle devrait, pourrait-on dire, les décrire par rapport à un système de coordonnées qui soit propre à chacun d'eux. Tel n'est pas notre propos. Allons au delà du système de références ; cherchons à dégager ce qui est invariant, ce qui est commun à ces deux attitudes. C'est, nous semble-t-il, la croyance dans la primauté de la Raison. Le fait que cette Raison ait pu s'exprimer avec tant de vigueur à trois siècles de distance chez ces deux grands hommes, atteste la valeur de leur commune conviction. Leurs noms sont assurés de traverser bien des siècles avant de s'effacer de la mémoire des hommes. Lorsque le temps aura fait son œuvre — car il la fera, et dans des millénaires l'oubli aura recouvert les noms les plus illustres — la cause de la raison sera plus jeune et plus fraîche que jamais. Je pense que c'est dans cette perspective que Descartes et Einstein ont mené le même combat.

Mais nous n'en sommes pas là. Les noms de Descartes et d'Einstein brillent comme deux phares et il convient d'en maintenir la flamme vive et haute contre les efforts de ceux qui souhaiteraient l'étouffer.

Car les ennemis de la Raison n'ont pas désarmé. Et il en est de

nos jours qui reprendraient volontiers cette pensée de Pascal que je n'ai jamais pu lire sans malaise :

Écrire contre ceux qui approfondissent trop les sciences : Descartes.

Ma conclusion lui sera diamétralement opposée : *Écrire pour ceux qui de toutes leurs forces ont cru que l'on n'approfondit jamais assez les sciences : Descartes, Einstein.*

F. Le Lionnais.

Note sur les Tenseurs. — L'étude des phénomènes et l'analyse des figures au moyen de référentiels est, par certains côtés, un art. Avant même de jouer avec virtuosité d'un système d'axes, il importe de savoir le choisir. Les coordonnées rectangulaires conviennent parfaitement à la ligne droite par exemple, alors que les coordonnées polaires sont tout indiquées pour la spirale logarithmique. L'arsenal des référentiels est heureusement fort riche et nous avons appris à lui faire produire une grande abondance de résultats. Il reste cependant bien des cas qui se refusent à cette sorte de traitement. Lorsqu'on aboutit à des expressions qui contiennent trop de signes, il devient impossible de les interpréter et l'on ne peut plus décider la part qui correspond au phénomène proprement dit, et celle qui a été introduite par le référentiel. Doit-on renoncer à l'étude analytique de tels phénomènes ?

L'analyse tensorielle nous permet fort heureusement de surmonter bien souvent ces difficultés. De plus elle nous apporte le moyen de rendre compte facilement d'une large catégorie d'états ou de phénomènes, en mettant en lumière leurs structures, d'une manière indépendante des référentiels employés. Elle atteint ce but grâce à la notion de Tenseur,

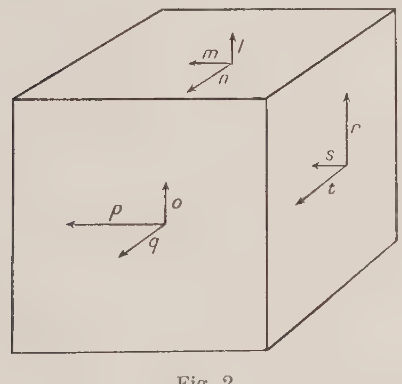


Fig. 2

	1	2	3
1	l -- a_{11}	m a_{21}	n a_{31}
2	o $= a_{12}$	p $= a_{22}$	q $= a_{32}$
3	r $= a_{13}$	s $= a_{23}$	t $= a_{33}$

Fig. 3

laquelle dépasse la notion de Vecteur comme celle-ci dépasse la notion de Nombre pur. Nous ne chercherons pas à donner ici une idée de la règle du jeu appliquée dans le Calcul tensoriel ; nous nous bornerons à évoquer l'aspect d'un Tenseur tel qu'il ressort de l'exemple classique qui a donné son nom à la méthode. Cet exemple est tiré de l'étude des efforts ou tensions, dans les solides matériels, étude qui relève de la Théorie de l'Elasticité.

Imaginons un cube de métal, de bois, de bakélite ou de toute autre matière plus ou moins déformable. Posons ce cube sur une pointe et appuyons fortement dessus en exerçant notre pression dans plusieurs directions. Le cube va se déformer. Quoique nous n'ayons pas eu recours à une description compliquée, le phénomène est assez complexe et le calcul

de la déformation produite est de nature à désespérer les mathématiciens qui n'ont à leur disposition que les instruments de la Géométrie analytique classique. Le Calcul tensoriel nous apporte, au contraire, une méthode de résolution très simple.

Nous devrons prendre en considération un trièdre trirectangle dont les trois faces sont respectivement parallèles aux faces de notre cube. A chacune des trois faces de ce trièdre, nous attacherons trois vecteurs (dont chacun est de longueur et d'orientation convenables) formant un trièdre trirectangle (voir figure 2). Ces $3 \times 3 = 9$ vecteurs sont appelés les « composantes de la tension ». Leur détermination constitue l'essentiel du problème et leur connaissance — qui se réduit à la connaissance de neuf nombres vectoriels — va nous permettre de résoudre avec aisance la question de la déformation du cube. Le système de ces neuf nombres forme le Tenseur des Efforts.

Pratiquement on conviendra d'écrire ces neuf composantes dans un quadrillage de neuf cases (voir figure 3). Cette représentation peut, à son tour, être abrégée. L'expression

$$a_{ik} \qquad (i, k = 1, 2, 3)$$

nous permettra de reconstituer notre tenseur, sachant que les indices i et k correspondent respectivement aux rangs des colonnes et des rangées dans le quadrillage et connaissant la loi qui indique les valeurs a en fonction de ces indices.

Esquisse
d'une histoire de l'atomisme en biologie
(Fin) (1)

IV. — Les idées actuelles sur le Gène

Nous avons vu antérieurement que la Génétique a établi sans équivoque le rôle privilégié que jouent, dans les phénomènes d'hérédité, certaines particules du noyau cellulaire, les *chromosomes.*

« Ce qu'on pouvait appeler, il y a quelques années, théorie chromosomique de l'hérédité n'est plus une hypothèse, mais une indiscutable réalité », constatait E. Guyénot en 1942 (2) ; et, depuis lors, une foule de faits nouveaux se sont accumulés, qui ont encore donné plus de force probante à la démonstration (3).

A la lumière de cette théorie, chaque chromosome se présente comme un filament à structure très complexe, que caractérise une différenciation longitudinale très poussée dans le sens de la longueur : à chaque niveau *(locus)* du filament se manifestent des propriétés différentes quant à la fonction héréditaire.

La plupart des biologistes interprètent cette différenciation en admettant que le filament chromosomique est constitué par une série, par une file de corpuscules *indépendants* et séparables les uns des autres : les *gènes.*

Cependant, comme nous y avons insisté au chapitre précédent, il est encore permis de mettre en doute la conception du gène *en tant que particule indépendante*, car d'autres suppositions sont légitimes quant à la nature de la différenciation du chromosome. On peut, notamment, voir dans celui-ci une gigantesque molécule fibrillaire, dont la structure et les propriétés varient suivant le

(1) Voir *Revue d'histoire des sciences*, t. II, 241-265, III, 156-169, IV, 41-59.

(2) *L'hérédité*, 3e édit., 1942, Doin.

(3) Citons, en particulier, les résultats obtenus par Fankhauser sur la polyploïdie expérimentale des Batraciens, par Humphrey (démonstration du mécanisme chromosomique de la détermination du sexe chez les Salamandres).

locus considéré ; et d'ailleurs, entre les deux thèses extrêmes, du chromosome parfaitement continu et du gène parfaitement autonome, il y a place pour bien des opinions intermédiaires.

*
* *

Il est assez communément admis que chaque gène correspond à une grosse molécule ou à l'association d'un petit nombre de molécules, avec les réserves qu'implique, selon Fauré-Frémiet (1), le terme de molécule appliqué à des édifices dont « on ne peut que sous-estimer la complexité chimique ».

On a d'assez bonnes raisons d'attribuer au gène une constitution de *nucléoprotéide*, et, plus précisément, de *désoxyribonucléoprotéide*.

« Chaque gène, écrivent A. Boivin et A. Delaunay (2), semble bien n'être qu'une molécule géante d'un nucléoprotéide spécial, caractéristique de ce gène... L'acide nucléique qui figure dans les nucléoprotéides du noyau est principalement à base de ribodésose (ou désoxyribose)...

Cette opinion est reproduite par Lucien Cuénot et A. Tétry dans leur dernier ouvrage :

« Le gène est probablement une seule grosse molécule de désoxyribonucléoprotéine contenant un grand nombre de radicaux d'amino-acides, ce qui donne la possibilité d'un nombre immense de stéréo-isomères... Ce sont sans doute les variations de leur copule nucléique qui leur confèrent une personnalité (3). »

L'acide désoxyribonucléique est, en effet, un constituant spécifique des chromosomes (Caspersson, Darlington, etc.). Il se montre deux fois plus abondant dans les noyaux cellulaires diploïdes (à double stock de chromosomes) que dans les noyaux haploïdes (à simple stock) (Boivin, Vendrely, Tulasne). En outre, c'est la même longueur d'onde de radiations qui est absorbée le plus fortement par les acides nucléiques et qui provoque dans les gènes la plus grande quantité de mutations.

Fort significatifs sont, de surcroît, les faits dits de « mutation dirigée ». Quand on traite des microbes (pneumocoques, colibacilles) d'une certaine race par des extraits de microbes d'une autre race, il arrive que l'on communique à ceux-là les caractères de ceux-ci ;

(1) La cellule et son organisation, *Année biologique*, avril-juin 1946.
(2) *L'organisme en lutte contre les microbes*, Gallimard, 1947.
(3) Lucien Cuénot et Andrée Tétry, *L'évolution biologique*, Masson, 1951.

et la modification ainsi imprimée est permanente, héréditaire, tout comme s'il s'agissait d'un changement de gène. On obtient des résultats du même genre en substituant aux extraits microbiens une substance chimique toute pure, à savoir, l'*acide désoxyribonucléique* tiré des microbes inducteurs. Ces remarquables expériences, dues à Griffith, Avery, Boivin, Taylor, etc., prouvent, d'une part, que chaque race de microbe contient un acide désoxyribonucléique particulier, et, d'autre part, que cet acide a le pouvoir de transmettre certains caractères héréditaires. On ne sait s'il s'incorpore, comme un gène, au patrimoine héréditaire des microbes soumis à son influence, ou s'il détermine dans les gènes de ceux-ci une mutation définie (1).

Nous ignorons tout du mécanisme qui assure l'auto-reproduction du gène. On présume qu'il suscite dans le milieu externe, et aux dépens des constituants de ce milieu, une « copie » de lui-même, copie généralement fidèle, mais qui peut exceptionnellement présenter de légères différences par rapport à l'original (c'est le cas de la mutation). Pour rendre compte du phénomène, on a songé à l'action d'enzymes de synthèse, fonctionnant en relation avec les acides nucléiques ; on a invoqué le phénomène de « résonance quantique » (Pascual Jordan, F. Pasquier), le jeu des « moments dipolaires statiques » (Friedrich Freksa) ; Linus Pauling s'est demandé si le gène ne produit pas d'abord « une molécule de structure complémentaire à la sienne, molécule qui, à son tour, sert de gabarit pour la reproduction du gène original » (2). Mais il n'y a dans tout cela que des hypothèses. Ce problème de l'auto-reproduction du gène est l'un des plus importants de la biologie, puisqu'il est celui-là même de l'assimilation et de la reproduction ; « sans doute faudra-t-il des générations pour en donner la solution » (3).

Pour ce qui est des dimensions du gène, on admet présentement que son diamètre doit se tenir *entre 4 et 8 millicrons* (millioniêmes de millimètre). Darlington estime approximativement à 30 *millicrons cubiques* le volume moyen du gène. Cette estimation se fonde sur l'analyse des effets mutagènes des radiations ionisantes, le

(1) Voir A. Boivin, R. Vendrely, R. Tulasne, Spécificité des acides nucléiques chez les êtres vivants (*Unités biologiques douées de continuité génétique*, Centre national de la Recherche scientifique, 1949).

(2) Anticorps et forces biologiques spécifiques, *Endeavour*, avril 1948.

(3) J.-B.-S. Haldane, *La philosophie marxiste et les sciences*, Éditions Sociales, 1946.

gène étant comparé à une « cible » (micrurgie quantique de Holweck, Lacassagne, etc.). Elle est nettement inférieure à celles qu'obtenaient soit Waddington (1934) en considérant le gène comme « la plus petite unité de crossing over et de rupture par les rayons X » (100 millicrons de longueur), soit H. J. Muller et Prokofyeva (1935) en déterminant la limite de taille d'un fragment de chromosome capable d'auto-reproduction (20 millicrons de largeur sur 125).

A la question de la taille des gènes se rattache directement celle de leur nombre. On pense qu'un noyau de Drosophile contient de 10.000 à 15.000 gènes ; un microbe (colibacille), plusieurs centaines ; un bactériophage, plusieurs dizaines.

Si le diamètre moyen du gène avoisine 4 à 8 millicrons, il est évidemment invisible aux grossissements du microscope ordinaire, qui ne permettent pas de distinguer des objets inférieurs à 2/10 de micron. L'opinion communément admise est celle de Huettner, d'après laquelle le gène ne deviendrait apparent qu'à la faveur de l'apposition d'un matériel accessoire et colorable (chromatine). Elle a été confirmée en ces derniers temps, et de façon précise, par les remarquables travaux d'E. Guyénot et de ses collaborateurs, qui, usant du microscope électronique (grossissement de 9.000 diamètres), ont réussi à apercevoir, dans les noyaux quiescents des cellules reproductrices (ovocytes de Batraciens), de longs filaments flexueux, d'un diamètre d'une cinquantaine d'angströms (l'angström = 1/10 de millicron) et d'une longueur de plusieurs dizaines de microns. Guyénot ne doute pas qu'il ne s'agisse des chromosomes complètement déroulés. On sait que, dans les noyaux cellulaires au repos (entre deux périodes de division), les chromosomes sont parfaitement invisibles sous le microscope ordinaire ; les observations de Guyénot, si elles sont confirmées, apportent donc, en premier lieu, la preuve de la *permanence* des filaments chromosomiques, permanence qui était postulée par la théorie chromosomique, mais dont on n'avait pas fourni jusqu'ici la démonstration directe ; en outre, elles nous révèlent le chromosome réduit à lui-même, le chromosome *dénudé*, qu'on n'avait pu apercevoir jusqu'à présent par suite de son excessive minceur, et qui est tout à fait différent du chromosome habillé, revêtu de chromatine, tel qu'il se présente à la vue du cytologiste.

Il est permis, dès lors, de se demander si les conclusions relatives à la structure chimique des chromosomes s'appliquent bien *aux gènes eux-mêmes*, et non pas plutôt à leur gaine chromatique.

« La chromatine, formée de nucléoprotéides, si elle rend le chromosome visible et colorable, et intervient dans la dynamique de la cinèse par sa charge électrique, n'aurait rien à voir avec la chromatine génétique, seule importante du point de vue de l'hérédité. Bien des hypothèses émises sur les dimensions des gènes, leur nature et celles de leurs mutations, devront, semble-t-il, être révisées (1). »

Des recherches de Guyénot, on rapprochera les observations de D. C. Pease et R. F. Baker, effectuées également au microscope électronique, mais sur les chromosomes géants de la drosophile, et d'où il ressort que la substance chromosomique laisse voir des particules de formes et d'aspects variés (en globule, en feuille, en cigare). Ces particules, selon Baker et Pease, seraient identifiables aux gènes, mais il s'agit, dans ce cas, de gènes habillés, revêtus de chromatine, et non pas de gènes nus, comme dans les observations de Guyénot.

La stabilité du gène est considérable (2). Trois cents croisements successifs entre des mouches à ailes longues et des mouches à ailes vestigiales ne déterminent aucune modification dans le gène des ailes longues (3).

Selon les conceptions actuelles, le gène serait un modificateur du fonctionnement cellulaire, un centre d'activité chimique. On a pu montrer (expériences de Beadle et Tatum sur la moisissure rose du pain, *Neurospora*) que chaque gène commande à la production d'un ferment défini, participant à la synthèse des composés chimiques nécessaires à la vie de la moisissure. On ignore à peu près tout des rapports structuraux entre le gène lui-même et les ferments dont il conditionne la formation, mais il est assez vraisemblable que, dans certains cas tout au moins, le ferment présente une constitution voisine de celle du gène.

Il est extrêmement tentant de comparer les gènes chromosomiques aux *virus-protéines*, révélés en 1935 par le biochimiste Stanley.

Gènes et virus sont doués du pouvoir d'auto-reproduction ; ils présentent, de loin en loin, des changements permanents de pro-

(1) Guyénot et M. Danon, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 6 février 1950.

(2) Schrödinger (*Qu'est-ce-que la vie ?* Club français du Livre, 1948), estime que le gène, contenant tout au plus quelques millions d'atomes, ne peut avoir « un comportement ordonné et réglé d'après la physique même, c'est-à-dire se montrer si stable, en dépit de la tendance perturbatrice due à l'agitation thermique, que grâce à la protection « de la baguette magique des quanta ».

(3) Pearl (R.), *Journal Washington Acad. Sc.*, 1935, 25, 253.

priétés *(mutations)*, changements dont la fréquence est très fortement accrue sous l'influence des radiations de faible longueur d'onde. Tous deux ils appartiennent, semble-t-il, à la famille des nucléoprotéines ; mais, alors que le gène contient de l'acide désoxyribonucléique, c'est de l'*acide ribonucléique* (1) que contient le virus.

La similitude entre les virus et les gènes paraît témoigner une véritable parenté, et il y a là un puissant argument en faveur de la conception du gène, particule indépendante, car il n'est pas douteux que les unités de virus ne soient des molécules, ou, en tout cas, des édifices moléculaires *autonomes*.

Un autre argument en faveur de cette conception peut être tiré de l'existence des « plasmagènes », ou gènes libres dans le cytoplasme.

Ces gènes cytoplasmiques ont été d'abord découverts chez les plantes, mais on en connaît, depuis une quinzaine d'années, quelques exemples chez les animaux.

Chez la drosophile, L'Héritier et Teissier (1937) ont mis en évidence le rôle d'un agent cytoplasmique auto-reproductible *(génoïde)*, qui, transmis par la femelle à tous ses descendants, conditionne la « sensibilité » de l'insecte à l'acide carbonique. Ce gaz se montre un poison violent pour les mouches qui portent le génoïde dans leur cytoplasme.

Sonneborn, plus récemment, a trouvé, dans une race *(killer)* de l'infusoire Paramécie, des particules cytoplasmiques *(particules kappa)* qui rendent l'animal apte à produire une substance toxique pour ses congénères. Les particules kappa ne peuvent se multiplier dans le cytoplasme qu'à la condition que le noyau contienne un certain gène K, mais la présence de ce gène K ne suffit pas à assurer la formation des particules kappa : un infusoire porteur du gène K ne pourra plus produire celles-ci après qu'il en aura été débarrassé artificiellement, ce qui est possible en le traitant par une température élevée ou certains antibiotiques comme la chloromycétine.

Pour ce qui est des particules kappa, qui, visibles au microscope ordinaire, sont de taille assez considérable (0,2 à 0,8 micron), on se demande si elles ne représentent pas les vestiges d'un ancien parasite dégradé. La question du parasitisme peut aussi se poser pour le génoïde de la drosophile, qui, à certains égards, se comporte comme un virus ; mais la distinction entre virus et gène cyto-

(1) Acide contenant, en fait de sucre, du ribose et non du ribodésose.

plasmique est extrêmement difficile à faire, et peut-être même n'est-elle qu'arbitraire : « Il n'y a pas de différence essentielle entre une infection à virus et l'hérédité cytoplasmique », disait J.-B.-S. Haldane en 1938 ; et, d'après Darlington, un virus pourrait avoir un plasmagène pour ancêtre ; c'est précisément par une dérivation de ce genre qu'il explique la genèse du cancer.

Un plasmagène fort intéressant a été signalé par Boris Ephrussi dans la levure de boulangerie : sous l'influence de certaines substances toxiques (acriflavine), le plasmagène est perdu par la cellule, d'où une modification désormais permanente de la fonction respiratoire, se traduisant par une réduction de la taille des colonies.

Nous ignorons pour l'instant quelle est l'importance du rôle héréditaire des plasmagènes. Il apparaît, de prime abord, assez faible, relativement au rôle des gènes proprement dits. « Les phénomènes d'hérédité cytoplasmique forment un ensemble assez maigre si on le compare à l'édifice impressionnant de l'hérédité chromosomique » (L'Héritier). « La chose étonnante, c'est que l'hérédité cytoplasmique joue un si faible rôle » (Sewall Wright).

Mais il ne faut pas oublier que nous ne pouvons connaître un plasmagène (comme un gène, du reste) que par ses variations. La paucité des manifestations héréditaires du cytoplasme pourrait donc, théoriquement, n'avoir d'autre cause qu'une *plus grande stabilité* de ses unités génétiques.

Il n'est pas impossible, au demeurant, que le cytoplasme intervienne dans l'hérédité autrement que par des particules autoreproductibles. Comme dit L'Héritier, « la question de la généralité de la conception particulaire de l'hérédité demeure ouverte » (1).

Si nous laissons de côté cette question, au débat de laquelle on ne peut verser aucun fait positif, nous pouvons dire que les faits d'hérédité cytoplasmique ont non seulement enrichi le chapitre de l'atomisme biologique, mais encore apporté de nouveaux arguments à la thèse de l'indépendance du gène.

Plus encore que les gènes, les plasmagènes se rapprochent des virus : comme eux, ils renferment de l'acide ribonucléique et non désoxyribonucléique.

Rappelons que des éléments particulaires, contenant de l'acide ribonucléique et jouant un rôle important dans la synthèse des protéines cellulaires, se trouvent en abondance dans la plupart

(1) Où en est la science de l'hérédité ? *Hommes et Mondes*, juin 1950.

des cytoplasmes cellulaires (A. Claude, J. Brachet et Jeener). On n'a pu encore prouver que ces « microsomes » cytoplasmiques possèdent, comme les gènes et les plasmagènes, le pouvoir d'autoreproduction (1). Toujours est-il que « les recherches cytologiques récentes portant soit sur les virus-protéines soit sur les constituants normaux de la cellule, évoquent à tout instant, et de manière obsédante, la notion de macromolécule protéique et nucléoprotéique. Si de telles assimilations sont exactes, et si, de ce fait, les virus moléculaires, les microsomes, les gènes, sont réellement comparables entre eux, au moins dans une certaine mesure, on paraît faire une sorte de retour à l'idée ancienne des unités biologiques fondamentales, telles que les « microzyma » de Béchamp ou les « bioblastes » de Altmann : idée ancienne retrouvée, mais fondée aujourdhui sur des bases nouvelles » (Fauré-Frémiet).

* * *

Examinons maintenant, à la lueur de cet « atomisme biologique » moderne, comment se posent les trois grands problèmes de l'hérédité, du développement et de l'évolution.

Il est désormais acquis qu'un très grand nombre de différences héréditaires — *de l'ordre individuel et racial* — sont en rapport avec la constitution des gènes du noyau.

En bien des cas, nous pouvons affirmer qu'entre deux individus différant par un caractère bien défini, il existe une différence de constitution dans un *locus* d'un certain chromosome (2).

La théorie chromosomique nous explique comment, par le jeu combinatoire des chromosomes, tous les individus d'une même espèce peuvent différer plus ou moins les uns des autres.

L'hérédité de la plupart des traits individuels et raciaux, de même que l'unicité de l'individu humain, ne sont plus des problèmes pour le biologiste.

Est-ce à dire que toutes les différences héréditaires sont transmises par les gènes chromosomiques ?

Non certes. Nous savons que certaines différences individuelles

(1) D'après Boivin, les gènes seraient les « directeurs primaires » du fonctionnement cellulaire ; les plasmagènes et les microsomes en seraient les directeurs « secondaires » ; les ferments, les directeurs « tertiaires ».

(2) Ce qui suffit à justifier amplement le terme de « substance héréditaire » appliqué aux chromosomes, bien qu'il soit vivement critiqué par certains.

ou raciales sont transmises par des gènes cytoplasmiques, et il se pourrait que ces derniers jouent dans la transmission des caractères spécifiques un rôle assez considérable, encore que, du fait de leur habituelle stabilité, nous ne puissions en donner la preuve. On doit également tenir compte de la possibilité d'une hérédité cytoplasmique « non particulaire » et liée à l'organisation générale ou à la biochimie du cytoplasme.

Le problème du développement, qui est le problème même de l'embryologie, garde encore bien des obscurités.

« C'est un des problèmes capitaux de la génétique et de l'embryologie tout ensemble que celui du rôle respectif des gènes et du protoplasme dans le développement, précoce ou tardif, des caractères individuels (1). »

La donnée fondamentale dont il faut partir est que les gènes du noyau sont transmis intégralement à toutes les cellules de l'organisme, car les divisions cellulaires sont toutes *équationnelles* quant au contenu nucléaire. Il est donc impossible d'expliquer — comme le voulait Weismann — la différenciation cellulaire par une répartition différentielle des gènes, et c'est, par suite, *dans le cytoplasme* que résident les causes de cette différenciation.

On peut imaginer que des groupes de gènes entrent successivement en activité, ou que certaines différences cytoplasmiques initiales entraînent des différences d'activité génique, qui, à leur tour, produiront de nouvelles différences cytoplasmiques.

D'après Morgan, les modifications du cytoplasme détermineraient des modifications superficielles et réversibles dans la structure des gènes (2).

Sonneborn a émis une hypothèse très ingénieuse (3) qui fait intervenir les plasmagènes.

La différenciation cellulaire serait en rapport avec « une ségrégation différentielle de déterminants cytoplasmiques lors de la division cellulaire ». Quand des cellules ont perdu certains plasmagènes, elles ne peuvent les refaire : c'est pourquoi elles acquièrent des caractères différents de ceux des cellules qui les ont gardés, et

(1) Thomas Hunt MORGAN, *Embryologie et génétique*, trad. par Jean ROSTAND, Gallimard, 1934.

(2) *Ibid.*

(3) Hypothèse qui lui a été, en partie, suggérée par Boris Ephrussi.

pourquoi, passé un certain stade du développement, la différenciation cellulaire est irréversible, l'organisme étant devenu une « mosaïque de territoires », comme dit Guyénot.

On peut imaginer que des plasmagènes primordiaux, d'abord inactifs, se combinent avec des substances produites par les gènes, pour produire des plasmagènes spécialisés.

P. Wintrebert a proposé, sur le développement, des vues passablement différentes de celles de Sonneborn. Il distingue, parmi les gènes, les gènes constructeurs ou gènes de développement, et les gènes utilitaires ou physiologiques : les premiers se combinent au protoplasme de manière définitive, ils sont « les architectes de la forme, les facteurs de métamorphose » ; les autres, qui ne s'associent au protoplasme que de manière provisoire, exercent, par voie enzymatique, une action modelante et passagère.

Les gènes, dit Wintrebert, ne sont pas la base essentielle de la vie ; ne pouvant ni vivre ni assimiler en dehors du cytoplasme, ils ne sont rien sans lui, mais, dans l'ontogenèse, le cytoplasme se comporte en exécutant passif et docile des gènes, qui assument la direction exclusive des événements (1).

Du rôle que jouent les gènes et les plasmagènes dans l'hérédité des caractères organiques, nous pouvons inférer directement qu'ils ont tenu une grande place dans les modifications évolutives des espèces.

Celles-ci ne peuvent, en effet, résulter que de *variations héréditaires*, et les seules variations héréditaires qui nous soient connues de façon certaine sont les « mutations », c'est-à-dire des modifications qualitatives ou quantitatives de la substance héréditaire. Ces mutations portent soit sur la constitution chimique des gènes (ou des plasmagènes) eux-mêmes, soit sur l'arrangement des gènes à l'intérieur des chromosomes, soit sur le nombre des gènes ou des chromosomes.

Elles sont « des variations individuelles, accidentelles, dont l'apparition est capricieuse et relativement rare » (Vandel). N'ayant aucun lien défini avec les conditions du milieu externe, et, par suite, étant dépourvues de toute valeur adaptative, elles n'avantagent que fortuitement l'organisme qui les présente. Aussi, pour rendre compte de l'adaptation organique, de la « finalité de fait »

(1) La conception génétique de l'ontogenèse, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1er août 1949.

qui se manifeste dans les machines vivantes, devra-t-on invoquer les effets drastiques de la sélection naturelle.

Cette théorie mutationniste ou néo-darwinienne (théorie dite *synthétique*) de l'évolution est professée par nombre de biologistes (Julian Huxley, Fisher, etc.), mais non par tous. Pour notre part, nous la jugeons insuffisante, en convenant d'ailleurs qu'on n'en saurait, pour l'instant, proposer aucune qui lui soit préférable.

En effet, la conception lamarckienne manque de toute base expérimentale, puisque, jusqu'ici, tous les efforts ont été vains pour mettre en évidence la transmission héréditaire d'une modification *acquise par le soma* (1).

Contrairement à ce que prétendent certains lamarckiens, les « mutations artificielles » n'ont apporté aucune justification à leur thèse : il n'y a pas de rapport entre ces variations quelconques, provoquées par l'action directe d'un agent externe sur la cellule germinale, et les variations proprement lamarckiennes, qui, primitivement somatiques, ne deviendraient germinales que secondairement.

Weismann lui-même, ne l'oublions pas, admettait parfaitement l'action directe du milieu sur le germen *(induction parallèle)*.

Quelques biologistes ont tâché de concilier théoriquement la conception génétique de l'hérédité avec un néo-lamarckisme en postulant une conformité chimique entre le gène et certaines substances de provenance somatique.

Selon eux, la modification d'une partie du corps, déterminée par l'exercice ou par le milieu, entraînerait la production d'une substance diffusible (hormone, antigène, ou anticorps) qui pourrait agir sur le ou les gènes en rapport avec la formation de cette partie, ou encore s'incorporer au patrimoine héréditaire (*lamarckisme chimique* de P. Wintrebert).

E. Guyénot, de son côté, a envisagé la possibilité de *variations constitutionnelles du cytoplasme*, qui pourraient être provoquées par le fonctionnement organique ou, plus généralement, par les conditions d'existence : « Ainsi la partie de la théorie lamarckienne qui a trait à un rôle possible des facteurs externes pourrait un jour réapparaître sous une forme modifiée, à condition de limiter l'action du milieu à des phénomènes de spécialisation progressive du cyto-

(1) Sans doute les biologistes soviétiques de l'école mitchourinienne prétendent-ils avoir fourni cette démonstration, mais on ne saurait faire état de leurs résultats expérimentaux avant qu'ils aient été vérifiés par d'autres chercheurs.

plasme susceptibles d'entraîner d'ailleurs des variations particulièrement profondes du développement général (1). »

D'autres auteurs, sans se préoccuper de ressusciter une part de lamarckisme, accordent un rôle considérable à d'hypothétiques variations du cytoplasme ovulaire, variations *primaires* et non point consécutives à des mutations de gènes.

L'embryologiste A. Dalcq, par exemple, estime qu'une variation de grande portée évolutive ne saurait apparaître que dans l'œuf ou dans les tout premiers stades du développement ; elle porterait sans doute sur le cytoplasme, soit qu'il s'agît d'une mutation de plasmagènes, ou d'une réorganisation complète de la cellule ovulaire (2). C'est à des variations de ce genre *(onto-mutations)* que Dalcq attribue la *macro-évolution*, c'est-à-dire la différenciation des grands types structuraux *(clades)*, alors que la différenciation des genres et des espèces serait due à des mutations de gènes ou de chromosomes.

La distinction entre les grandes étapes initiales de l'évolution et les petites étapes finales (macro- (ou méga-) et micro-évolution) ne paraît pas justifiée à Lucien Cuénot, qui assigne de mêmes causes à tous les changements évolutifs, quelle qu'en soit l'amplitude. Vandel, en revanche, souscrit aux idées de Dalcq, et estime, lui aussi, que « c'est à l'embryologie qu'il convient de s'adresser pour obtenir un renouvellement fécond de nos conceptions sur l'évolution » (3). Il doute que la mutation classique (mutation de gène) nous donne la clef de la variation évolutive, car, pour lui, « le mécanisme mendélien, qui répartit avec une admirable précision les chromosomes et les gènes entre les différentes cellules sexuelles, représente un mécanisme hautement spécialisé et essentiellement stabilisateur ».

Devant la difficulté où nous sommes d'expliquer les phénomènes d'évolution par les mécanismes génétiques positivement connus, il est évidemment très séduisant de reporter dans le cytoplasme, encore assez mystérieux, la source de la plasticité organique. Mais on doit reconnaître que nous n'avons jamais rien constaté ni dans

(1) *La variation et l'évolution*, t. II, pp. 328-329, Doin, 1930.

(2) Ce serait sans doute une variation *primaire*, car « on peut hésiter à admettre que la transformation d'un ou plusieurs *loci* (gènes) soit capable d'influencer le cours de l'ovogenèse au point de remanier la constitution du cytoplasme et la répartition ultérieure de ses constituants par la ségrégation ovoplasmique » (A. DALCQ, L'apport de l'embryologie causale au problème de l'évolution, *Portugaliae acta Biologica*, Lisbonne, 1949).

(3) *Revue scientifique*, 1951.

la nature ni au laboratoire, qui permette de nous faire une idée précise de ces « mutations cardinales » ou ontomutations que l'évolutionniste, un peu déçu par ce qu'il observe, se complaît à imaginer (1).

***

Pour conclure brièvement cette *Esquisse d'une histoire de l'atomisme en biologie*, nous dirons que cet atomisme, longtemps combattu, a maintenant triomphé sans conteste, donnant raison à tous les précurseurs qui, depuis Maupertuis et Buffon jusqu'à Weismann en passant par Darwin, ont senti le besoin d'admettre l'existence d'unités biologiques pour expliquer les faits d'hérédité et de variation.

L'atomisme biologique peut être considéré présentement comme aussi fortement démontré que l'atomisme physico-chimique.

Sur la notion même du gène, sur sa constitution et son degré d'indépendance, on discutera sans doute longtemps, très longtemps (2), mais ces discussions ne doivent pas faire perdre de vue le fait essentiel qui est « le caractère atomique » des choses vivantes, comme dit Darlington.

Bien entendu, on n'entend nullement spécifier, par le mot atome, qu'il s'agisse d'unités *insécables*.

Les atomes biologiques que sont les gènes sont, dans les chromosomes, disposés suivant un ordre défini : ils forment un système cohérent, dont les propriétés d'ensemble peuvent varier pour un minime changement survenu dans les relations mutuelles des gènes. A cet égard, la notion weismannienne de « l'architecture du plasma germinatif » a reçu une pleine confirmation.

Cette notion d'arrangement génique ne vaut évidemment pas pour les plasmagènes, libres dans le cytoplasme cellulaire.

Comme l'avait fort bien compris Morgan, et contrairement aux vues de Weismann (3), le gène (ou le plasmagène) n'est nullement

(1) Nous ne ferons que mentionner la théorie de Baldwin, Osborn, Lloyd Morgan, Hovasse, qui s'efforce d'expliquer l'évolution par des somations adaptatives, auxquelles se substitueraient des mutations qui les miment. Ce compromis entre le darwinisme et le lamarckisme ne nous paraît offrir aucun avantage sérieux sur le darwinisme pur.

(2) « Nous ne savons absolument rien de précis sur ce que peut être un facteur [gène]. La prudence scientifique commanderait de ne pas s'attarder à ce problème particulier » (Guyénot).

(3) Weismann, mort en 1904, n'a jamais admis le gène au sens mendélien du mot (voir Morgan, *The Physical basis of Heredity*, note, p. 235).

un « germe de caractère », encore moins une « miniature d'organe » ; il n'est qu'un modificateur du chimisme cellulaire, et les biologistes, prudemment, se gardent aujourd'hui de préciser les rapports entre le gène et le caractère, le rôle joué par tels ou tels gènes dans la formation de tel ou tel organe. *L'atomisme biologique a définitivement éliminé toute la part de préformisme qui entachait la plupart des théories microméristes du passé.*

***

Nul n'ignore qu'à l'heure présente, la notion de gène, ou d'atome biologique, est passionnément combattue par les biologistes soviétiques de l'école de Mitchourine et de Lyssenko, qui lui reprochent, au nom du marxisme militant, d'être réactionnaire, idéaliste, bourgeoise, métaphysique, etc. (1).

Sans reprendre ici la critique, développée en un ouvrage récent (2), d'un dogmatisme philosophique qui prétend faire loi jusque dans le domaine des réalisations expérimentales, nous nous bornerons à demander en quoi la notion de gène — c'est-à-dire d'une particule matérielle jouant un rôle défini dans les processus de transmission et de variation — est essentiellement contraire aux enseignements du matérialisme marxiste.

Comme dit fort bien le biologiste anglais J. B. S. Haldane, considéré jusqu'ici comme un partisan du marxisme scientifique, « un marxiste ne peut pas plus nier une base matérielle à l'hérédité qu'à la sensation et à la pensée »... (3). Aussi, en démontrant « que l'hérédité possède une base matérielle et non métaphysique », Thomas Hunt Morgan et ses collègues ont accompli, du point de vue marxiste même, un très grand progrès scientifique.

Il est assez curieux de noter que les marxistes soviétiques se rencontrent, dans leur critique du gène, avec Johannsen, l'un des fondateurs de la génétique classique, qui écrivait en 1913 :

« Nous touchons ici à une notion au plus haut point dangereuse... celle du gène considéré comme une structure matérielle, morphologiquement caractérisée, notion contre laquelle nous devons ici mettre en garde (4). »

(1) Voir *La situation dans la science biologique*, éd. en langues étrangères, Moscou, 1949.
(2) Voir J. Rostand, *Les grands courants de la biologie*, Gallimard, 1951.
(3) *Ibid.*
(4) *Elements der Exakten Erblichkeitslehre*, Iéna, 1913, p. 483.

Le marxisme serait-il foncièrement opposé à l'idée de la discontinuité du patrimoine héréditaire ? Mais en quoi l'atomisme biologique serait-il plus « idéaliste », plus « bourgeois », que l'atomisme physico-chimique ?

Les marxistes louent Paul Langevin, par exemple, d'avoir, par ses expériences sur l'ionisation des gaz, « démontré l'existence réelle, objective, des atomes, molécules et autres corpuscules de l'atomistique, existence niée par les positivistes » (1). Or, n'est-ce pas la même œuvre qu'ont accomplie les généticiens quand ils ont démontré « l'existence réelle, objective » des gènes, contre les positivistes de la biologie qui se refusaient à aller plus loin que de dire : tout se passe, dans les croisements, comme s'il y avait des unités héréditaires séparables les unes des autres ?

Si, pour notre part, nous contestons que la notion de gène ait de quoi choquer un esprit attaché aux doctrines marxistes, allons-nous admettre, en revanche, avec J. B. S. Haldane, que « l'histoire de la théorie des gènes fournit un magnifique exemple du développement dialectique de la science » (2) ?

Pas davantage.

D'après Haldane, l'évolution des idées, sur ce point, se serait faite constamment dans le sens d'une accentuation *matérialiste*, depuis Mendel, qui apparemment ne tenait pas les facteurs d'hérédité pour des objets matériels, depuis Bateson, qui employait encore le terme neutre et positiviste de « facteur », jusqu'à Correns, qui admet la matérialité du facteur, et, enfin, jusqu'à Morgan, qui démontre par l'expérience l'existence matérielle, objective, du « gène » chromosomique.

Mais l'historien de l'atomisme biologique ne doit pas oublier que les plus vieilles théories de l'hérédité admettaient, elles aussi, l'existence de particules matérielles. Souvenons-nous des molécules organiques de Maupertuis, de Buffon, des gemmules de Darwin, des micelles de Nägeli, des déterminants de Weismann...

On est parti — *car c'était la démarche la plus simple*, de l'idée de particule matérielle. Puis, on a traversé une longue période de doute, de scepticisme ; si beaucoup de savants du XIXe siècle renâclaient à l'idée micromériste, c'était, semble-t-il, *par circonspection scientifique*, par crainte d'accepter une représentation trop

(1) G. VASSAILS, *Éducation nationale*, 1951.
(2) *Ibid.*

grossière, trop naïve, des phénomènes, *bien plutôt que par préjugé idéaliste.*

Il est même à remarquer que les anti-microméristes et les anti-mendéliens de la fin du XIXe et du début du XXe siècles étaient plutôt de tendance matérialiste, ou, tout au moins, mécaniste : ils reprochaient volontiers à la conception adverse d'être trop « morphologique », ce qui, dans leur esprit, était presque synonyme de « vitaliste » (1), et ils lui opposaient des théories de l'hérédité et de l'évolution qui se donnaient pour « physico-chimiques ».

En bref, nous pensons que l'histoire de l'idée de gène — *comme celle de toute autre idée scientifique* — est trop complexe, trop nuancée, qu'elle met en jeu trop de facteurs intellectuels, pour pouvoir, sans schématisation déformante, être racontée sur le pur mode de la dialectique marxiste.

Jean ROSTAND.

(1) Voir Le Dantec, Yves Delage, Étienne Rabaud, Alphonse Labbé, etc.

DOCUMENTATION ET INFORMATIONS

I. — DOCUMENTATION

Les opinions de l'abbé de La Chapelle sur l'enseignement des mathématiques

L'enseignement des mathématiques en France se caractérise, au moins depuis Ramus, par une très grande liberté vis-à-vis de la tradition. Chaque époque le marque de son caractère, et la très riche littérature de pédagogie des mathématiques qui en résulte est intéressante à suivre dans son évolution.

Au XVIe siècle nous trouvons par exemple les volumineuses *Scholae mathematicae* de Ramus, dont l'influence se fit sentir dans grand nombre d'Universités. Au XVIIe siècle, ce sont d'abord les MM. de Port-Royal dans leur *Logique*, puis dans leur *Géométrie*, et bientôt après le milieu si intéressant des Malebranchistes avec entre autres les PP. Prestet et Reyneau. Au siècle suivant les *Élémens de géométrie* et les *Élémens d'algèbre* de Clairaut et l'*Émile* de Rousseau sont restés célèbres. Mais bien d'autres écrivains, philosophes et professeurs, ont eu des idées méritant intérêt, comme Rivard par exemple. Au début du XIXe siècle, signalons les *Essais sur l'enseignement*, de Lacroix, et revenons en 1743, avec le *Discours sur l'étude des mathématiques, où l'on essaie d'établir que les enfants sont capables de s'y appliquer*, de l'abbé de La Chapelle.

Né vers 1710, mort à Paris en 1792, l'auteur était en 1764 censeur royal, et membre des Académies de Lyon, Rouen, et de la Société Royale de Londres. Il a collaboré à l'*Encyclopédie* et semble avoir été lié d'amitié avec Le Blond, maître de mathématiques des Enfants de France, qui a rédigé pour l'*Encyclopédie* tous les articles de Stratégie.

Citons parmi les écrits de l'abbé de La Chapelle, *Les institutions de géométrie*, en 2 volumes, 1746, 4e édition en 1764. Nos citations dans cet article seront extraites de cette édition, qui est précédée du *Discours* et d'une *Suite du discours*.

On lui doit encore un *Traité des sections coniques* (1750). Dans son édition imprimée de la *Géométrie de Sauveur*, Le Blond déclare cet ouvrage « très bon ».

En 1772, La Chapelle publia *Le ventriloque ou l'engastrimythe* (2 vol.) où il essaie de donner une explication rationnelle à plusieurs prodiges rapportés par l'histoire profane ou sacrée.

Ajoutons qu'inventeur d'un vêtement insubmersible il en fit l'essai sur la Seine, au quai de La Rapée, en 1767. Montucla, au tome II, page 40, des *Récréations mathématiques* d'Ozanam, édition de 1778, écrit à ce sujet :

Il est presque superflu d'observer en combien de cas cette invention seroit utile tant sur terre que sur mer. Un corps ennemi seroit, par exemple, bien tranquille, au delà d'une rivière rapide et qu'on ne sçauroit passer au gué : on donneroit de semblables camisoles à un nombre suffisant de soldats, qui pourroient facilement porter avec eux leurs sabres et leurs pistolets ; ils passeroient la rivière, et surprendroient ce corps ennemi, sur lequel ils tomberoient le pistolet et le sabre à la main. S'ils étoient repoussés, ils se rejeteroient à l'eau, et échapperoient sans pouvoir être poursuivis.

Montucla continue en montrant l'utilité de « la camisole de liège » dans les naufrages.

Pour achever de camper notre auteur, citons ce passage de l'avertissement qui précède l'édition de 1764 de ses *Institutions* :

Toujours occupé de la manière dont les idées entrent et se succèdent dans l'âme, jamais les générales ne se sont présentées les premières à mon esprit. *Un même corps ne sçauroit être à la fois en plusieurs lieux.* Je n'ai osé faire cette assertion en homme sage, qu'après des millions d'expériences ; encore suis-je tenté bien des fois d'en douter, quand je me vois dans un miroir, ou que je regarde des objets avec un verre à facettes.

Abordons le *Discours*. Il se suffit à lui-même. Nous ne le discuterons pas, laissant à l'auteur la pleine responsabilité de ses assertions. Des extraits et quelques éclaircissements suffiront :

Les opinions prennent ordinairement naissance dans la coutume. On renvoie presque toujours aux derniers tems de l'éducation l'Étude des Mathématiques, et l'on croit que cela est très bien fait.

Nous nous proposons l'examen de cet usage ; voici quel est notre plan. Comme une question bien exposée est à moitié résolue, on va, par un détail bien circonstancié, établir précisément ce dont il s'agit. Quand notre objet sera en évidence, nous parcourrons les moyens d'y atteindre, nous examinerons nos facultés ; par-là, nous nous assurerons si notre fonds est suffisant ; et s'il l'est, nous tâcherons de le mettre en valeur.

Suit un examen rapide de la notion de dimension, puis :

Jusqu'ici, et c'est de-là que la Géométrie part, nous n'avons encore rien que de très-sensible, de très-palpable ; toutes choses dont les sens rendent témoignage à 6 ans comme à 30.

Car je laisse les discours alambiqués de ces Métaphysiciens pointilleux, qui

veulent absolument que la Géométrie ait ses articles de foi comme la Théologie.

Ils ne cessent de lui reprocher, que ses surfaces, ses lignes, ses points, n'existent pas dans la matière.

Je ne vois cependant rien qui soit plus continuellement en expérience. Les Géomètres n'ont point de lignes, de surfaces, de points différents de ceux que la matière leur offre ; ils mesurent ce qu'ils voient, ce qu'ils touchent, ce qu'ils parcourent.

Il est donc évident, que les premiers éléments du Géomètre posent sur la matière la plus exposée à nos sens ; que toute la différence qui se trouve entre un homme ordinaire, et celui qui a quelque teinture de Géomètrie, c'est que le premier n'a pas été plus loin que les premières notions, et que le second en a suivi le développement. Mais les sens ont toujours servi de conducteurs...

Cependant le développement de la Géométrie conduit à « embrasser l'enchaînement d'une longue suite de propositions ». Est-ce possible « sans avoir l'intelligence bien affermie ? »

1° Cette chaîne de propositions ne se rencontre guères dans les élémens, où une vérité se manifeste à l'aide de trois ou quatre autres tout au plus ;

2° A mesure que les vérités se placent dans la tête, l'intelligence prend de la consistance : peu-à-peu elle acquiert la force de se soumettre ce qu'il y a de plus élevé.

3° Enfin, voyons ce qui se passe en nous, quand nous lions dix vérités ensemble. [La Chapelle essaie de montrer que dans le passage d'une vérité à la suivante, nous pouvons oublier celles qui précèdent. Tout cela, pour lui, est à la portée de jeunes enfants.] L'organe de la vue vient presque toujours au secours en Géométrie : il s'y agit, au moins, aussi souvent, de voir, que de se ressouvenir. On est un peu trop prévenu que cette science ne combine que des idées abstraites.

Cependant nous sommes naturellement portés à compter et à mesurer : le seul instinct nous mène là.

Des enfants prennent-ils la largeur d'un chemin ? La perpendiculaire est la ligne qu'ils cherchent ; (ils n'en sçavent pas le nom, mais le nom ne fait rien aux idées). Ils ne veulent pas qu'elle biaise ; ils ont grand soin que celui qui est à l'autre bout de la corde, soit bien de face avec le premier : ils font de la Géométrie sans le sçavoir.

Nous ne croyons pas dégrader cette science, en disant qu'elle ne nous présente d'abord que des idées sensibles ; elle est assez relevée par sa certitude et par son utilité : elle peut donc prendre facilement sur des esprits qui ne font encore usage que de leurs organes.

Il n'en est pas ainsi des Belles-Lettres, des compositions de goût qui demandent plus de maturité. Horace et Virgile doivent être lus à 15 ou 20 ans, où l'on a déjà quelques principes de goût et de mœurs. Euclide peut être étudié à 6 ans ; l'on a à cet âge des yeux et des mains.

L'important, à l'égard des enfants, est d'exciter leur attention. De la matière, des figures, du mouvement, rien n'est plus propre à cet effet. Ils tiennent continuellement à ces choses, et ils veulent y tenir. Pourquoi apprennent-ils si facilement à jouer à des jeux qui demandent des combinaisons assez fines ? c'est que tout y parle aux yeux...

Les purs spéculatifs n'approuveront pas les vues que nous avons de tourner continuellement l'esprit vers la matière.

Nous ne désespérerions pourtant pas de les amener à notre avis, s'ils pouvoient s'accommoder de l'idée que l'on se perfectionne dans l'usage de sa raison, comme dans l'exercice des Arts méchaniques. Le Politique et le Philosophe ne se forment pas autrement que l'Architecte et l'Astronome ; et ces derniers se forment ainsi que le Maçon et l'Arpenteur.

Dans un passage qui est certainement ultérieur à la première rédaction, La Chapelle prend

l'exemple le plus illustre et le plus complet que l'on puisse désirer, dans la personne de feu Mgr le duc de Bourgogne, qui n'avoit pas six ans révolus.

La sagesse et la prudence du Roi n'ont permis que des essais sur une tête si tendre et si précieuse. L'intelligence et le courage de Madame la Comtesse de Marsan, le zèle et l'habileté de M. Le Blond, en ont fait un chef-d'œuvre. Encore n'accordoit-on la Géométrie à Mgr le Duc de Bourgogne qu'à titre de récompense, Madame la Comtesse de Marsan ayant jugé que, s'il falloit quelques efforts pour faire ses plaisirs de son devoir, on se faisoit toujours très volontiers un devoir de ses plaisirs.

Il s'agit ici du frère aîné de Louis XVI décédé en 1761, à l'âge de 9 ans. L'ouvrage intitulé *La géométrie du duc de Bourgogne*, fut écrite par De Malezieu, pour l'autre duc du même nom, père de Louis XV. C'est un très joli résumé de la *Géométrie* de Port-Royal. Les ouvrages d'enseignement du XVIIIe siècle ont tous été influencés par Port-Royal, mais prennent un caractère plus pratique et matérialiste. L'*Émile* n'ayant paru qu'en 1762, on voit que la Cour dans ses expériences d'éducation subit des influences antérieures, venues du milieu encyclopédiste, peut-être des *Élémens* de Clairaut, mais certainement aussi du modeste abbé de La Chapelle. Ce dernier termine ainsi son *Discours* :

Au reste, ce seroit prendre mal notre pensée, que de nous attribuer l'intention de mettre, s'il est permis de le dire, tout l'esprit d'un jeune homme en Mathématiques. Nous croyons seulement, que de toutes les sciences qui concourent à perfectionner l'éducation, les Mathématiques ont droit au privilège d'être particulièrement cultivées : leurs principes sont sous nos yeux, et sous nos mains ; des corps, un compas, une règle. Un enfant peut agir ici comme un homme fait ; au lieu que les autres sciences demandent, pour être raisonnablement entendues, une suite d'expériences, qu'il n'est possible d'acquérir qu'après le tems de l'éducation.

Le *Discours* souleva une certaine émotion dont la presse savante se fit l'écho. C'est à répondre aux divers critiques que La Chapelle emploie une *Suite du discours*... Les articles qu'il cite ou auxquels il répond sont un article du *Journal des Sçavans* (septembre 1743), par de Mont-Carville, un du *Journal de Trévoux* (février 1743), du P. Castel, et un du *Journal historique de Verdun*, par un anonyme, qui cite l'*Essai sur l'esprit humain*,

ou *Principes naturels d'éducation*, de Morelli. Dans sa réponse aux critiques, La Chapelle s'en prend lui-même à l'abbé Desfontaines. On voit combien les questions pédagogiques étaient débattues en ce milieu de siècle.

Jean ITARD.

II. — INFORMATIONS

FRANCE

CORRESPONDANCE DE LAVOISIER

Le Comité pour la publication de la Correspondance de Lavoisier s'est réuni le 12 décembre 1951, à l'Institut de France, sous la présidence de M. Gabriel Bertrand, en vue de prendre les dernières mesures pour la publication de la correspondance du grand chimiste. Cette correspondance sera réunie en un volume qui complétera les 6 tomes d'*Œuvres complètes*, édités de 1864 à 1893, par J.-B. Dumas et E. Grimaux, sous les auspices de l'Académie des Sciences. Le *Catalogue préliminaire de la Correspondance de Lavoisier*, publié à cette occasion, par M. René Fric au nom du Comité, a été signalé dans des fascicules antérieurs de cette revue (1).

COMMÉMORATIONS

Bicentenaire de l' « Encyclopédie »

Sous la présidence de M. J. Sarrailh, recteur de l'Académie de Paris, assisté de M. G. Davy, doyen de la Faculté des Lettres et de M. A. Châtelet, doyen de la Faculté des Sciences, le Comité de Commémoration du Bicentenaire de l'*Encyclopédie* a organisé à la Sorbonne (amphithéâtre Richelieu) les conférences suivantes qui ont été suivies par un nombreux public :

3 mars. — R. PINTARD, *Voltaire et l' « Encyclopédie »* ; M. ROQUES, *L'art et l' « Encyclopédie »*.

10 mars. — L. DE BROGLIE, *D'Alembert et l' « Encyclopédie »* ; J. THOMAS, *Le rôle de Diderot dans l' « Encyclopédie »*.

17 mars. — L. BINET, *La biologie et la médecine dans l' « Encyclopédie »* ; P. COUDERC, *L' « Encyclopédie » et l'astronomie.*

24 mars. — G. FRIEDMANN, *L' « Encyclopédie » et le travail humain* ; J. FOURASTIÉ, *L' « Encyclopédie » et la notion de progrès économique.*

(1) *Revue d'Histoire des Sciences*, t. II, 1949, p. 360 et t. IV, 1951, p. 185. Le *Catalogue préliminaire de la Correspondance de Lavoisier* a été publié dans les *Archives internationales d'Histoire des Sciences* (t. II, nº 7, avril 1949, pp. 619-670). Un tirage à part spécial de cet article a été publié afin de faciliter les recherches préliminaires à l'édition de cette correspondance.

31 mars. — L. PLANTEFOL, *Les sciences naturelles dans l' « Encyclopédie »* ; H. BEDARIDA, *L' « Encyclopédie » et l'Italie.*
21 avril. — G. LEFEBVRE, *L' « Encyclopédie » et la Révolution Française* ; P. GROSCLAUDE, *Malesherbes et l' « Encyclopédie ».*
28 avril. — J.-J. MAYOUX, *Les doctrines littéraires de Diderot et l' « Encyclopédie »* ; P. CLARAC, *L' « Encyclopédie » et les problèmes d'éducation.*

Société Médico-Psychologique

La Société Médico-Psychologique célèbre, les 25 et 26 mai 1952, le centenaire de sa fondation.

Certains des membres fondateurs appartenaient au groupe des médecins qui avaient entrepris, en 1843, de publier les *Annales médico-psychologiques*, périodique qui est demeuré, depuis un siècle, l'organe de la Société. Celle-ci tint ses premières séances en 1852.

Les 35 fondateurs de la Société étaient divers, par leur origine, par leur formation intellectuelle, par leurs opinions philosophiques et politiques. Ils étaient d'accord sur l'utilité des études de médecine mentale et sur l'opportunité de mettre les résultats des recherches effectuées dans ce domaine, au service, non seulement de la pathologie du système nerveux, de la thérapeutique, de l'hygiène, de la médecine légale dans leurs applications aux aliénés, de l'assistance à ces malades méconnus et maltraités jusqu'à Pinel, mais encore au service du progrès des connaissances psychologiques.

Ces fondateurs, des cliniciens : Baillarger, J.-P. Falret, Moreau (de Tours), Félix Voisin, etc. ; des anatomistes : Gerdy, Lallemand, Parchappe ; des philosophes : P.-J.-B. Buchez, et ses disciples : Laurent Cerise et Auguste Ott ; des inspecteurs du ministère de l'Intérieur : Ferrus, H. de Castelnau ; des hygiénistes : Bourdin, Londe ; un érudit qui devint professeur au Collège de France : Alfred Maury ; des journalistes médicaux : Dechambre, Brochin, et Louis Peisse, philosophe qui fut un remarquable écrivain, et d'autres, ont laissé, chacun, une œuvre personnelle qui n'est pas oubliée, et, dans les discussions de la Société qu'ils fondèrent, une œuvre collective, dont l'influence fut considérable et la renommée mondiale.

Le rôle politique de deux d'entre eux, au lendemain de la révolution de février 1848, fut de premier plan. Buchez et Ulysse Trélat, fondateurs de la Charbonnerie française, et conspirateurs, sous le gouvernement de la Restauration, devinrent, le premier, président de l'Assemblée nationale constituante, le second ministre des Travaux publics.

Le siège social de la Société Médico-Psychologique est rue de Seine, n° 12. Son président pour 1952 est le Dr Cl.-G. Collet, membre du Groupe français des Historiens des sciences.

Dr G. COLLET.

Ve Centenaire de Léonard de Vinci

Parmi les nombreuses manifestations destinées à commémorer le Ve Centenaire de la naissance de l'artiste et du précurseur génial que fut Léonard de Vinci, le Centre national de la Recherche scientifique organise au Palais de la Découverte, du 4 au 7 juillet 1952, un colloque scientifique international où une vingtaine de spécialistes éminents viendront présenter des exposés sur le thème :

Léonard de Vinci et l'expérience scientifique au XVIe siècle

Des cartes d'auditeurs pour ce colloque pourront être demandées au C. N. R. S. (secrétariat du colloque Léonard de Vinci), 13, quai Anatole-France, Paris (7e).

La *Revue d'Histoire des Sciences* donnera dans son dernier fascicule de 1952, le compte rendu des travaux de cet important colloque.

CONFÉRENCES

Le Groupe français d'Historiens des Sciences a organisé, le jeudi 13 mars 1952, au Musée pédagogique, une conférence de M. Armand Machabey, inspecteur divisionnaire des Instruments de Mesure au ministère de l'Industrie et de l'Énergie, sur :

Les sources historiques de la métrologie

M. G. Gaudron, inspecteur général des Musées de France, présidait cette conférence qui fut illustrée par la projection d'une série d'importants documents relatifs à l'histoire de la métrologie. Le texte de l'exposé de M. Machabey sera publié dans un prochain numéro de la *Revue de Métrologie.*



Au cours de la séance annuelle des prix de l'Académie des Sciences, du 10 décembre 1951, présidée par M. Maurice Javillier, M. Louis de Broglie, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, président d'honneur du Groupe français d'Historiens des Sciences, a donné lecture d'une

Notice sur la vie et l'œuvre de Hendrik Antoon Lorentz, associé étranger

Cette étude a été publiée dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.*

* * *

Sous la présidence de M. L. Cagniard, M. G. Vassails a présenté, le 14 mars 1952, à l'Institut hongrois de Paris, un exposé relatif à :

La vie et l'œuvre de Lóránd Eötvös (1848-1919)

***

M. ULLMO a fait le 1er mars 1952, au Palais de la Découverte, une conférence sur :

L'évolution de l'idée de force et ses prolongements modernes

***

Le Séminaire d'Histoire des Mathématiques organise les conférences suivantes (salle des Modèles de l'Institut Henri-Poincaré, jeudi 15 h. 15) :

6 mars 1952. — R. TATON, *La géométrie infinitésimale dans la première moitié du XVIIIe siècle.*
27 mars. — J. ITARD, *La théorie des nombres premiers chez le Père Prestet.*
3 avril. — P. SERGESCU, *Léonard de Vinci et les mathématiques.*
24 avril. — C. NAUX, *Le calcul des sinus par Briggs.*
8 mai. — P. COSTABEL, *Sur les paradoxes des Éléates.*
29 mai. — R. TATON, *La perspective chez Desargues.*

EXPOSITIONS

L'École technique supérieure de Laboratoire (92-94, rue du Dessous-des-Berges, Paris (13e)) a organisé sa VIIe Semaine du Laboratoire, du 5 au 11 mai 1952. A la présentation d'un riche matériel d'enseignement et de laboratoire et de plusieurs films scientifiques, était jointe une rétrospective sur *La Commission des Sciences et des Arts et l'Institut d'Égypte pendant la Campagne de Bonaparte*, à la visite de laquelle de nombreux historiens des sciences ont participé.

PERSONALIA

Au cours d'une cérémonie intime organisée au Centre international de Synthèse, le 2 avril 1952, M. Julien Cain, administrateur de la Bibliothèque Nationale, a remis les insignes de commandeur de la Légion d'honneur à M. Henri Berr, directeur fondateur du Centre international de Synthèse. A cette occasion, ont pris la parole, M. Sergescu au nom des historiens des sciences, M. Lucien Febvre au nom des amis et collaborateurs de M. Berr, et M. Caullery, au nom de ses anciens élèves.

Nous apprenons également la récente parution du tome X d'*Osiris*, dédié par M. Georges Sarton à M. Henri Berr, en hommage à l'ampleur de son œuvre historique et au magnifique dévouement avec lequel il a toujours servi la cause de la science.

*
* *

M. Charles Brunold, directeur général de l'enseignement du second degré, vice-président du Groupe français d'Historiens des Sciences, vient d'être récemment promu au grade d'officier de la Légion d'honneur.

*
* *

Le prix Binoux de philosophie et histoire des sciences a été décerné par l'Académie des Sciences, au cours de la séance solennelle du 10 décembre 1951, à M. Alexandre Koyré, directeur d'études à l'École pratique des Hautes-Études, vice-président du Groupe français d'Historiens des Sciences, pour l'ensemble de ses travaux consacrés à l'histoire des sciences.

Le grand prix littéraire de la ville de Paris, pour 1951, a été décerné pour l'ensemble de son œuvre scientifique et littéraire à notre éminent collaborateur M. Jean Rostand, le biologiste bien connu.

Le prix scientifique de l'*Almanach des Sciences* a été décerné à M. Jean Piveteau, professeur à la Sorbonne, membre du bureau du Groupe français d'Historiens des Sciences pour son ouvrage : *Images des mondes disparus.*

Le prix Jean Cavaillès de philosophie et d'histoire des sciences, fondé par la Société des amis de l'éminent philosophe des sciences et du grand patriote que fut Jean Cavaillès (1903-1944) a été décerné à M. René Taton, secrétaire du Groupe français d'Historiens des Sciences, pour ses études sur *L'œuvre scientifique de Monge* et sur *L'œuvre mathématique de G. Desargues.*

CONGRÈS DE L'A. F. A. S.

Le prochain Congrès de l'Association française pour l'Avancement des Sciences se tiendra à Cannes du 22 au 27 septembre 1952, sous la présidence de M. Cabannes, membre de l'Institut. La section d'Histoire et Philosophie des Sciences sera présidée par M. Pierre Humbert, professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier. Toute demande de renseignements concernant cette section devra être adressée à M. René Taton, 64, rue Gay-Lussac, Paris (5e).

VIIe CONGRÈS INTERNATIONAL D'HISTOIRE DES SCIENCES

Le VIIe Congrès international d'Histoire des Sciences aura lieu en Israël à Jérusalem, dans la première semaine d'août 1953. Toute la correspondance concernant ce congrès doit être adressée au Pr F.-S. Bodenheimer, Université Hébraïque, Jérusalem, Israël. Les participants français sont priés en outre de bien vouloir se tenir en contact avec le secrétariat du Groupe français d'Historiens des Sciences, 12, rue Colbert, Paris (2e).

NÉCROLOGIE

ÉMILE BRÉHIER
(12 avril 1876-3 février 1952)

Malgré une fatigue croissante, Émile Bréhier n'avait pas réduit son activité jusqu'au dernier jour ; et il garda jusqu'au bout ce port si droit, qui donnait à sa démarche une allure altière, contrastant avec la très grande bienveillance avec laquelle il accueillait étudiants et chercheurs.

Ce n'est pas ici le lieu d'évoquer son œuvre d'historien de la philosophie, ni d'en dégager l'inspiration, qu'il serait aisé de rattacher, par une dérivation authentique et originale, à la pensée de Bergson, dont Bréhier fut jadis l'auditeur, puis le successeur à l'Académie des Sciences morales ; mais il nous faut souligner l'importance considérable qu'il attacha toujours à l'Histoire des Sciences. Un de ses premiers articles traitait de « Posidonius théoricien de la géométrie » (*Revue des Études grecques*, 1914) ; un de ses derniers, de la « Mécanique céleste néo-platonicienne » (*Mél. Maréchal*, t. II, p. 245). En 1950, il étudiait, dans la présente revue, les ouvrages de P.-H. Michel et de Cohen et Drabkin sur la science grecque ; et le petit livre intitulé *Science et humanisme*, qu'il publia en 1948, est un vrai traité de la valeur morale de la Science et de ses rapports avec la Philosophie. Pour citer une expression qu'il employait lui-même dans un de ses derniers ouvrages (*Transformation de la Philosophie française*, 1950, p. 229), son point de vue était : « un humanisme qui voit dans la Science, non pas un ensemble de recettes, mais une œuvre, parmi d'autres, de l'esprit humain ».

Pierre-Maxime SCHUHL.

ANALYSES D'OUVRAGES

Pierre SERGESCU, *Coup d'œil sur les origines de la science exacte moderne*, Paris, Société d'Édition d'Enseignement supérieur (S. E. D. E. S.), 1951, 12 × 19 cm., 206 p. (collection « Esprit et Méthode »).

Dans la collection « Esprit et Méthode », voici, après *Le déclin des absolus mathématico-logiques* de G. Bouligand et J. Desgranges, un ouvrage sur les origines de la Science exacte moderne, dû à l'éminent directeur des *Archives internationales d'Histoire des Sciences*, Pierre Sergescu, secrétaire perpétuel de l'Académie internationale d'Histoire des Sciences.

Les auditeurs attentifs de l'Heure de culture française à la radio retrouveront en ce volume les 14 causeries faites en 1950 par leur auteur, dans leur forme simple, exacte, vivante. C'est une « sorte d'initiation à l'étude délicate de l'évolution de la pensée scientifique qui a conduit à la science moderne », abstraction faite toutefois des sciences biologiques pour lesquelles M. Pierre Sergescu se déclare incompétent.

M. Sergescu réagit dès les premières pages contre ceux qui veulent faire dater la science moderne du XVIIe siècle, et d'accord avec George Sarton, il montre que le Moyen Age doit être assimilé à « la période de gestation de la science moderne, sans laquelle cette dernière ne peut être comprise dans sa vraie signification ». Après avoir signalé l'héritage de la science antique et arabe où se font jour les deux traditions qui ont pour chefs de file Aristote (tendance spéculative, système du monde fondé sur des principes immuables) et Archimède (tendance concrète, mathématisante, expérimentale), qui se heurteront jusqu'au cours du XVIIe siècle, M. Sergescu étudie les brèches creusées dans le système d'Aristote à travers les trois problèmes fondamentaux de l'infini, du mouvement et du système du monde. Il insiste avec force sur l'activité scientifique au XIVe siècle, puis il indique comment la création d'outils mathématiques nouveaux au XVIe siècle, la découverte de l'œuvre d'Archimède, la systématisation de l'algèbre, les attaques de Galilée ruinèrent peu à peu au XVIIe siècle le système aristotélicien. Avec le XVIIe siècle paraissent Descartes et Pascal, en qui l'auteur reconnaît deux attitudes modernes de savants. Reprenant les trois problèmes de l'infini, du mouvement et du système du monde, M. Sergescu étudie alors la création du calcul infinitésimal avec Leibniz et Newton, la mécanique et l'astronomie modernes et les *Principia* de Newton, la théorie de la gravitation. Enfin il consacre trois chapitres au XVIIIe siècle où il analyse la naissance de la géodésie, la systématisation de la science moderne, et la chimie moderne avec Lavoisier.

On peut voir par cette brève analyse combien peuvent être denses les 109 pages qui composent la Première Partie de l'ouvrage. Et pourtant la concision ne nuit jamais à la clarté de l'exposé. A celui-ci font suite deux index : 1° L'index des noms (75 p.), où 160 savants sont cités, avec les caractéristiques de leur vie et surtout de leur œuvre ; 2° L'index explicatif (14 p.) de quelques termes techniques.

Ces deux index faits avec conscience et méthode éviteront à beaucoup de lecteurs les pertes de temps qui résulteraient pour eux des recherches à entreprendre dans des dictionnaires ou des ouvrages spécialisés. La terminologie scientifique, variable même avec les époques, est en effet souvent mal connue des curieux des sciences, de même que la biographie de la plupart des savants anciens.

Enfin, pour ceux de ses lecteurs qui voudraient approfondir les questions qu'il a traitées, M. Sergescu a ajouté 4 pages de *Notes bibliographiques* où il indique les principaux ouvrages qui pourront être consultés. C'est un choix judicieux de travaux d'histoire des sciences, tel qu'on pouvait l'attendre d'un homme qui est lui-même un savant, mais qui est aussi très désireux de donner une base de travail à un public de large culture. Celui-ci lui sera reconnaissant, nous en sommes persuadés, de l'avoir aidé à aborder des problèmes qui lui semblent souvent inaccessibles ; mais les spécialistes, aussi, sauront gré à M. Sergescu de leur avoir donné un excellent résumé de l'évolution de la pensée scientifique jusqu'au XVIIIe siècle, et un instrument de références facile à consulter, auquel ils auront toujours profit à se reporter.

Suzanne Delorme.

E. Kasner et J. Newman, *Les mathématiques et l'imagination*, traduction de F. Beris et F. Le Lionnais, 1 vol. 14 × 22, 251 p. avec 179 fig. de Rufus Isaacs, Paris, Payot (Bibliothèque scientifique), 1950. Prix : 720 fr.

Les auteurs de cet ouvrage ont voulu étendre les méthodes de haute vulgarisation jusqu'aux « postes avancés des mathématiques dont on ne parle qu'à voix basse — auxquels on ne fait allusion, si même on y fait allusion, que par leur nom ». Ils ont désiré montrer « quelques caractéristiques des mathématiques, leur esprit hardi, libre d'entraves, et comment en tant qu'art et que science, elles ont continué à stimuler les facultés de création ». Chemin faisant, ils s'efforcent de démontrer que les mathématiques sont gouvernées par les mêmes règles que les diverses disciplines artistiques, voire même la poésie, règles qui, quoique pouvant paraître sans éclat, leur permettent d'atteindre les sommets les plus élevés.

Cet essai est, dans l'ensemble, très réussi et malgré l'emploi, peut-être trop généralisé, de comparaisons ou d'anecdotes dont la justesse ou l'authenticité sont discutables, plusieurs notions mathématiques fondamentales s'y trouvent assez clairement mises à la portée des lecteurs non-initiés. Signalons cependant la présence de plusieurs coquilles, pouvant gêner la compréhension de quelques passages. Puisque cette traduction s'adresse à des lecteurs de langue française, il eût été souhaitable que la bibliographie, par ailleurs assez copieuse, soit adaptée à ce public et non pratiquement limitée à des ouvrages de langue anglaise (1).

R. Taton.

(1) Il eût été également souhaitable que les titres des divers ouvrages de référence soient donnés dans leur langue originale, exception faite de ceux pour lesquels existe une traduction française. Ceci faciliterait les recherches des lecteurs désireux de recourir à ces ouvrages et ne gênerait en rien les autres, puisque le titre d'un ouvrage à lui seul ne donne aucun renseignement.

Dr S. C. Van Veen, *Passermeetkunde*, Gorinchem, J. Noorduyn et Zoon N. V, 1951, 184 p.

En 1797 parut à Pavie l'ouvrage *Geometria del Compasso* de Lorenzo Mascheroni (1750-1800), dans lequel le mathématicien italien démontra que chaque construction euclidienne qui peut être faite à l'aide de la règle et du compas peut être exécutée aussi à l'aide du compas seul ; en outre l'ouvrage contenait un grand nombre d'applications intéressantes à d'autres problèmes géométriques et des constructions approximatives de problèmes non-quadratiques. L'ouvrage eut un succès retentissant et ravit en particulier Bonaparte, qui en entretint les savants de l'Institut. Bientôt une traduction française fut faite par A. M. Carette (1798 ; 2e éd., 1828), suivie par une traduction allemande par J. P. Grüson (1825). Plus tard, le sujet tomba dans l'oubli de sorte qu'il put être redécouvert en 1897 par E. Dubouis et en 1898 par G. Césaro. Or le mathématicien hollandais S. C. Van Veen a eu l'heureuse idée de remettre l'ouvrage original de Mascheroni à la disposition du lecteur intéressé par les problèmes de constructions géométriques. Il reproduit la plupart des constructions de Mascheroni sous une forme modernisée et étend ses méthodes à la géométrie sur la sphère. L'ouvrage se termine par l'exposé élémentaire des preuves d'impossibilité de quelques problèmes classiques.

A chaque page le lecteur attentif aura l'occasion d'admirer la parfaite lucidité de l'exposition et la rigueur des démonstrations.

E. J. Dijksterhuis.

René Taton, *L'œuvre scientifique de Monge*, 1 vol. in-8o, 441 p., Presses Universitaires de France, Paris, 1951.

Cet ouvrage est la thèse principale de l'auteur pour le doctorat ès Lettres.

Monge est une des gloires les plus pures de la Science française. Une négligence regrettable des pouvoirs publics, de Louis-Philippe à nos jours, fait que nous attendons encore la publication de ses œuvres complètes. Le travail que nous analysons comble heureusement d'une façon partielle le vide créé par cette négligence, mais nous fait mieux ressentir l'ampleur même de ce vide.

Après une courte introduction, le premier chapitre retrace la vie et la carrière de Gaspard Monge, de sa naissance à Beaune, le 9 mai 1746, à sa mort, à Paris, le 28 juillet 1818. Pendant plus de trois ans, M. Taton a cherché patiemment, à travers tout le pays, une documentation précise et inédite. Cette partie de son travail, comme d'ailleurs tout l'ensemble, pourra donc être consultée avec confiance. Nous y voyons Monge, tour à tour arriver à l'École du Génie de Mézières, en 1766, y enseigner, devenir en 72 correspondant, puis en 80, membre de l'Académie des Sciences, prendre une part active à la Révolution, fonder l'École polytechnique, remplir sous le Directoire, des missions à l'étranger, servir le Consulat et l'Empire, puis, maltraité par la seconde Restauration, mourir privé d'honneurs et à l'écart, mais non oublié de ses élèves et amis. C'est ainsi qu'en 1819, dans la préface, au tome III du grand *Traité du calcul différentiel et du calcul intégral*, Lacroix qu'il avait aimé et soutenu, mais qui n'avait pas toujours été très correct à son égard, écrira, avec le courage élégant que l'on savait avoir à cette époque : « Long-temps avant la fondation de la première École polytechnique, institution sans modèle comme sans rivale, à laquelle il eut la plus grande part, Monge était

adoré déjà par de nombreux élèves qu'il avait formés dans le corps du Génie militaire. En étendant ses soins à la jeunesse destinée à peupler tous les services publics, et dont il ne s'est pas moins montré l'ami que le professeur, il s'est formé une immense famille d'hommes reconnaissans qui ont senti vivement sa perte et les chagrins qui l'ont avancée. »

Le chapitre II traite de la Géométrie descriptive, la plus célèbre création de Monge. « La Géométrie descriptive, écrit ce dernier, est l'art de représenter sur une feuille de dessin qui n'a que deux dimensions, les corps de l'espace qui en ont 3 et qui sont susceptibles d'une définition rigoureuse. » Le chapitre, d'une cinquantaine de pages, donne un historique précis et exact de la préhistoire de cet art, depuis les épures des architectes égyptiens et grecs au précurseur immédiat de Monge, Frégier, en passant par le *Traité d'architecture* de Vitruve, les croquis de Villard de Honnecourt au XIIIe siècle, et surtout les conceptions originales de Desargues. Il n'oublie pas davantage le courant des peintres et des sculpteurs, où se distingue Albert Dürer par ses épures déjà si proches des idées de Monge. Ce dernier reste toutefois, incontestablement, le fondateur de la nouvelle technique à qui il a donné des bases scientifiques solides. Des deux expositions qu'il en fit, la plus connue est formée par ses leçons à l'École normale de l'an III. Ce sont cependant ses leçons à l'École polytechnique qui se rapprochent le plus de l'enseignement actuel de cette discipline.

Le chapitre III, 47 pages, étudie l'apport de Monge à la Géométrie analytique. Ici encore, un exposé historique nous fait assister à l'évolution de la science de Descartes et Fermat au début du XIXe siècle, en passant par Clairaut. En conclusion, l'auteur cite l'historien américain des mathématiques, C. B. Boyer « ... la Géométrie analytique est une contribution française aux mathématiques. Ses premiers fondateurs, Descartes et Fermat, étaient tous deux français, et français également furent ceux qui firent le plus pour la façonner dans sa forme moderne : Monge et Lacroix avec l'aide de Lagrange et de Legendre ».

Au chapitre IV, de plus de 90 pages, est étudiée la Géométrie infinitésimale, avec toujours un exposé historique précieux, qui, avec ceux des autres chapitres, fait de l'ouvrage une histoire très au point, et presque complète de branches très importantes des mathématiques. Nous ne pouvons nous arrêter à un examen détaillé de son contenu. Disons seulement que Monge réconcilie analyse et géométrie et crée ainsi un courant qui devait se révéler très fécond au XIXe siècle.

Le chapitre V est consacré à la Géométrie pure et à la Géométrie moderne. D'un peu plus de 25 pages il ne comporte pas d'introduction historique pour la seule raison que Monge est ici à l'origine même du développement historique, avec Lagrange et son mémoire de 1773 sur les pyramides triangulaires. Nous y apprenons que bien avant Möbius, Monge oriente les aires et les volumes, comme, bien avant Plücker, il avait introduit les coordonnées plückériennes de la droite. A la fin de ce chapitre l'auteur cite un passage de Gaston Darboux. Qu'il me permette de citer quelques passages d'Hankel, du même esprit, dont on excusera une traduction approximative. Je les extrais d'une traduction italienne, par A. Sparagna, parue en 1876 dans le *Bulletin Boncompagni*, de son aperçu historique sur le développement de la géométrie moderne, paru en 1875 en tête de son ouvrage posthume *Die Elemente der projectivischen geometrie*.

« Euler et Lagrange avaient créé ce que l'on a appelé l'élégance analytique... Il était nécessaire que la Géométrie fasse un progrès analogue... ce progrès est dû

à Monge : ses œuvres sont de vrais modèles d'exposition alerte et élégante, libre des vieilles contraintes. Il fut l'inventeur du dessin fondé sur des bases scientifiques... Le second et grand progrès que la géométrie fit avec Monge et ses élèves fut son élévation à une intuition plus libre et plus générale des relations de position des figures... Monge est encore le père de la Géométrie analytique moderne... » et, ici, Hankel cite Plücker lui-même qui se reconnaît disciple de notre grand géomètre.

Le chapitre VI est réservé à l'analyse mathématique. L'auteur conclut : « Pour condenser en quelques mots l'essentiel de l'œuvre de Monge en analyse, on peut dire qu'il est à l'origine de l'interprétation géométrique des équations aux dérivées partielles tant par la liaison qu'il introduit entre ces équations et les familles de surfaces définies par un mode donné de génération que par sa théorie des caractéristiques, l'introduction des courbes intégrales, des développables caractéristiques et des trajectoires de caractéristiques et par la théorie du cône caractéristique... Aussi quoique l'œuvre de Monge, dans ce domaine, n'ait pas l'étendue et l'ampleur de celle d'un Euler, d'un Lagrange ou même d'un Legendre, elle est suffisante pour lui valoir une place de choix parmi les grands analystes de la fin du XVIIIe siècle. »

Le chapitre VII est consacré aux autres travaux scientifiques : mécanique et théorie des machines, physique et chimie, en particulier synthèse de l'eau, métallurgie, etc.

Le chapitre VIII dégage la personnalité de Monge et l'unité interne de son œuvre.

L'ouvrage est complété par un tableau d'ensemble de l'œuvre scientifique : œuvres imprimées classées par ordre chronologique de publication, manuscrits scientifiques, correspondance scientifique, mémoires académiques par ordre chronologique de présentation.

Viennent ensuite une Bibliographie générale de 35 pages, et un index alphabétique des noms de personnes cités.

Jean ITARD.

Evariste GALOIS et G. VERRIEST, *Œuvres mathématiques d'Evariste Galois publiées en 1897, suivies d'une notice sur Evariste Galois et la théorie des équations algébriques par G. Verriest*, 2e éd., revue et corrigée, 1 vol. 16 × 25, x-63-56, p., portrait de Galois en frontispice, Paris, Gauthier-Villars, 1951. Prix : 300 francs.

Cet ouvrage reproduit, d'une part, la première édition des *Œuvres mathématiques d'Evariste Galois*, publiée en 1897 sous la direction d'Émile Picard (1), et d'autre part, une importante étude de G. Verriest sur la contribution de Galois à la théorie des équations algébriques, étude publiée en premier lieu par la *Revue des questions scientifiques* en 1934 (2). Ces deux textes étaient depuis longtemps

(1) *Œuvres mathématiques d'Evariste Galois*, publiées sous les auspices de la Société mathématique de France, avec une Introduction par Émile PICARD, 1 vol., 16 × 25, x-63 p., portrait de Galois en frontispice, Paris, Gauthier-Villars, 1897.

(2) G. VERRIEST, « Evariste Galois et la théorie des équations algébriques », 1 fasc., 16 × 25, 56 p. (extrait de la *Revue des Questions scientifiques*, mai-juil. 1934), Louvain, 1934.

difficiles à trouver, aussi remercierons-nous la maison Gauthier-Villars de nous en donner une reproduction par procédé photographique. Il est inutile de rappeler l'importance et l'intérêt des *Œuvres* de Galois et le nom de G. Verriest est un sûr garant de la solidité et de la clarté de son étude. Mais l'on peut se demander pourquoi l'éditeur n'a pas préféré joindre aux *Œuvres* de Galois, l'édition des manuscrits du même auteur faite en 1908 par J. Tannery (1), plutôt que l'étude de G. Verriest qui, malgré son grand intérêt, tranche par son caractère de semi-vulgarisation sur le ton si élevé des textes de Galois. Une magnifique occasion s'offrait de réunir deux ensembles de textes qui s'interpénètrent, voire même de les compléter, grâce à une nouvelle étude des manuscrits originaux d'Evariste Galois déposés à la Bibliothèque de l'Institut (2), et nombreux sont ceux qui regretteront que cette occasion n'ait pas été mise à profit d'une façon plus efficace.

R. Taton.

Gaston Bachelard, *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*, Bibliothèque de Philosophie contemporaine, P. U. F., Paris, 1951, 1 vol. in-8°, 223 p.

Toujours à l'avant-garde des recherches épistémologiques, M. Bachelard ne semble pas relever de l'histoire des sciences. Mais pour comprendre l'avenir, il nous montre qu'il faut savoir interroger le passé, le psychanalyser même, pour en tirer l'exemple des maintenances nécessaires et des survivances inutiles. Il y a, dit-il (p. 24, 26), une histoire jugée, une *story* (p. 27) qui se distingue de l'érudition, de l'*history*, une *histoire récurrente, que l'on éclaire par la finalité du présent* (26), et dans cet éclairage seulement se révèle la souple démarche du vrai rationalisme.

Dans cet esprit, et sur le ton vivant et direct qui est le sien, M. Bachelard écrit une série de chapitres sur les notions les plus importantes de la physique moderne (corpuscules, électrons, photons, spin, magnetons,...) et les encadre d'une introduction sur sa conception propre de l'épistémologie, puis d'une conclusion sur la nécessité où nous sommes de repenser le déterminisme, concept toujours central, mais désormais purgé, exorcisé de *l'idéalisme intempérant* (212) avec lequel on prêtait naïvement une rigueur absolue aux formules verbales d'un Laplace ; formules dont la clarté fixe pouvait, comme celle d'un phare, signaler le danger aussi bien que la bonne route ; formules qu'il faut toujours interpréter pour l'usage.

Car la réalité n'est pas simple ! Nous ne suivrons pas l'auteur dans ses approximations les plus *fines*. Disons seulement qu'à ses yeux *le phénomène scientifique n'est plus un phénomène de prise directe* (107) ; il suppose l'intervention d'une technicité opératoire dont l'empiriste Hume n'avait guère plus conscience que le rationaliste Descartes. Au *chosisme* de Meyerson, qui rappelle trop ce que M. B.

(1) *Manuscrits d'Évariste Galois*, publiés par J. Tannery, Paris, Gauthier-Villars, 1908 (extrait du *Bulletin des Sciences mathématiques*, 1906-1907).

(2) J. Tannery n'a en effet édité qu'une partie de ces manuscrits et il semble que certains autres fragments mériteraient à leur tour d'être publiés. Voir en particulier le texte que nous avons reproduit dans la *Revue d'histoire des sciences* (t. II, f. 2, oct.-déc. 1947, pp. 114-130 : « Les relations d'Evariste Galois avec les mathématiciens de son temps » : spécialement pp. 123-125).

appelle le *choquisme* de Desc. (84, 116), il faut substituer une conception infiniment plus souple d'interaction sans contact, de réalité sans support (85 : Daudel, Leprince-Ringuet). Le traditionnel « donné » doit être inventé, et non découvert (87, 113) ; à côté des êtres matériels, il y aura des êtres dynamiques (109), et il y aura des échanges entre eux : l'énergie d'un photon fait naître une « paire » d'électrons : positon et négaton, qui sont matériels.

Mais cette matérialisation ne se lit sur les clichés de la chambre de Wilson qu'après avoir été lue d'abord dans l'équation qui traduit et affirme l'application du principe de la conservation de l'énergie (109), et le véritable objet de la recherche, ce sont *les concordances de la physique calculée et de la physique mesurée* (110). Il est donc vrai que, dans le nouvel univers, les vieux principes s'estompent, et qu'il règne une discontinuité *déduite* (111), une phénoménologie non-réaliste : ce qui nous ramène à la conception, soutenue dans un autre livre, d'un « rationalisme appliqué », c'est-à-dire *d'une constante fusion du système de raisons théoriques et d'expériences techniques* (*ibid.* ; cf. 114 : *le neutron nous paraît l'objet-type d'un rationalisme appliqué* ; *objet inconcevable et inatteignable sans la gémination d'un rationalisme organisateur et d'un matérialisme technique*).

On voit donc que cette *épistémologie non-cartésienne* (214) n'est pas pour cela un empirisme ; au contraire, l'*empiriste est... le philosophe qui signe la démission de la philosophie* (104). Et le *déterminisme technique* introduit par la conclusion, s'ajoutant sans le détruire au *déterminisme rationnel* des philosophes classiques, vient parfaire l'idée d'un *pluralisme des déterminismes* (217) répondant à la complexité des causes qui jamais ne sont *empiriques* (220). Les vraies causes sont *primitivement cachées ... dans les erreurs des premières recherches (ibid.)*, c'est-à-dire des premières intuitions empiriques dont une conscience rationnelle doit se dégager en passant *à travers* (219).

Le Cosmos des anciens était un. Il n'en est plus ainsi de notre Univers, qui même *n'est pas un objet* (220). Son existence résulte de l'union profonde des cultures mathématiques et expérimentales autrefois distinctes (223). Il n'y a d'ordre et d'unité que par l'activité d'un sujet ; mais celui-ci ne doit être que virtuellement posé devant des choses dont il n'est pas *souverain* (219), tandis que ces dernières ne sont jamais toutes faites sans lui. Il y a là une réciprocité dialectique très profonde qui interdit toute domination totalitaire de l'un des termes, mais qui assure au contraire la suprématie de la technicité humaine, d'un ordre des pensées qui n'est ni des choses, ni de l'être en soi, mais seulement de l'homme, capable de tout *comprendre*, pourvu que ce soit *dans la cohérence des raisons* (219).

Bernard ROCHOT.

D[r] K. T. A. HALBERTSMA, *A History of the Theory of Colour*, Amsterdam, Swets et Zeitlinger, 1949, 267 p.

Tout auteur d'un livre sur l'histoire d'une science qui aspire à traiter son sujet d'une manière tant soit peu exhaustive, se trouve en contact avec le difficile problème méthodologique des limites temporelles. S'il arrête son exposé à un moment quelconque, par exemple à la fin du XIX[e] siècle, il introduit une division tout à fait arbitraire dans un développement continu et il lui faut renoncer au plaisir de montrer les résultats les plus modernes auxquels les travaux des siècles antérieurs ont

abouti. Si au contraire il poursuit son sujet jusqu'à la date d'aujourd'hui, il ne fait plus proprement métier d'historien ; c'est plutôt une mise au point sur la littérature scientifique actuelle qu'il donne.

Aux prises avec la nécessité de choisir entre ces deux méthodes, dont aucune n'est exempte d'inconvénients, l'auteur de l'histoire de la théorie des couleurs s'est décidé pour la seconde alternative : dans les chapitres I-IV il nous donne un exposé succinct sur l'historique de la théorie jusqu'à la fin du XVIIIe siècle ; les chapitres V et VI sont consacrés au XIXe siècle, tandis que le chapitre final contient un compte rendu des recherches de la première moitié du XXe siècle sur cinq sujets divers.

Comme la dernière partie n'est pas de notre compétence, nous nous bornons à signaler son caractère exhaustif et l'énumération très complète de la littérature scientifique moderne qui termine le volume.

Dans les chapitres proprement historiques l'exposé s'élargit d'une manière très judicieuse à mesure qu'on s'approche des temps modernes. Après avoir traité l'Antiquité et le Moyen Age en raccourci l'auteur s'étend déjà plus longuement sur Antoine de Dominis (il le fait même deux fois, la p. 23-4 étant reproduite presque textuellement à la p. 27) et sur divers auteurs du XVIIe siècle comme Grimaldi, Descartes, Boyle, et Newton. Au XVIIIe siècle, ce sont surtout Guyot et Voigt qui retiennent l'attention ; les contributions de Gœthe et Schopenhauer sont ensuite exposées en détail et critiquées judicieusement.

Dès le commencement du XIXe siècle le sujet devient tellement vaste qu'il est impossible d'observer l'ordre chronologique ; aussi l'auteur le remplace-t-il par l'ordre systématique, en divisant la matière en 4 parties : la théorie de la sensation des couleurs, celle de leur mélange, celle de leur intensité et celle du daltonisme. Dans la seconde moitié du XIXe siècle la théorie psychologique des couleurs prend de l'importance ; les méthodes d'observation sont améliorées ; en outre la théorie des systèmes de couleurs est établie.

Tout en tenant compte à l'auteur des nombreux renseignements historiques qu'il a rassemblés dans son ouvrage, nous ne pouvons dissimuler une certaine déception quant au style, qui est peu attrayant, à l'exactitude de l'exposé et à la solidité de la documentation. Dans les citations des ouvrages étudiés, plusieurs négligences se font remarquer. Ainsi l'ouvrage de Kepler *Ad Vitellionem Paralipomena* est cité à la p. 24 comme *Ad Vitellorum Paralipomena* et à la p. 25 comme *Ad Vitellonem Paralomena*. Dans l'exposé des recherches de Newton, il y a plusieurs cas où les références, ou bien sont incorrectes, ou bien font totalement défaut ; fréquemment aussi, l'auteur ne réussit pas à rendre les expériences et les raisonnements de Newton d'une manière compréhensible. Nous mentionnons comme exemple l'expérience 13 de la Partie I du Livre I de l'ouvrage *Optice*.

Ici Newton prend deux cercles de papier blanc d'un diamètre de $\frac{1}{4}$ inch, dont l'un est illuminé par la lumière hétérogène du soleil et l'autre par de la lumière homogène ; en les regardant tous deux à travers un prisme, il voit le premier cercle très allongé, tandis que le second se montre encore exactement circulaire. On se demande si le lecteur comprendra la tendance de cette expérience lorsqu'il lit la description qui suit : « Similarly if he placed a round piece of white paper about $\frac{1''}{4}$ in diameter in any colour of the spectrum and looked at this paper

through a prism the first appeared completely unchanged in colour whereas the second was oblong in shape and was white in the centre and had coloured fringes ». (Nous n'avons pas trouvé chez Newton la dernière remarque.)

Nombreuses aussi sont les insuffisances, voire les fautes, dans la traduction anglaise de passages de l'ouvrage *Über das Sehn und die Farben* de Schopenhauer. Voici quelques exemples : Schopenhauer écrit (Grossherzog Wilhelm Ernst Ausgabe ; Insel Verlag, Leipzig, t. III, p. 722) : « Ein wesentlicher Unterschied meiner Theorie von der Newtonschen besteht noch darin, dass diese... jede Farbe bloss als eine qualitas occulta... eines der sieben homogenen Lichter anführt, ihr einen Namen gibt und sie dann laufen lässt... »

Dans la traduction de M. H... on lit (p. 78) : « Schopenhauer also saw an essential difference from Newton's theory in that he gives the colours a special name and singly allows them to pass through the prism. »

Schopenhauer (ibid.) : « ... einen ganz bestimmten, durch einen Bruch ausgedrückten Theil der Thätigkeit der Retina... ».

Traduction (p. 78) : a quite definite part of the retina expanded by refraction... »

Schopenhauer (III, 721) : « ... statt der sieben Theile haben wir nur zwei, aber auch wieder unzählige, je nachdem man es nimmt... ».

Traduction (p. 76) : « ... instead of the seven parts we have only two — which again are unnecessary according how one takes it... ».

Schopenhauer (III, 681) : « Es sind wichtige, vollständige, bedeutsame Data, reiche Materialien zu einer künftigen Theorie der Farbe. »

Traduction (p. 79) : « It is correct, complete data, *not* material for a future theory of colour. » (Les italiques sont de M. H...).

Du reste, on ne comprend pas pourquoi l'auteur tenait tant à traduire Schopenhauer en anglais ; est-ce que les lecteurs avides de connaître l'histoire de la théorie des couleurs ne sont pas censés pouvoir lire l'allemand ?

Quoi qu'il en soit, il lui faut savoir gré d'avoir tâché de nous rendre compréhensibles les idées souvent étranges de Gœthe et de Schopenhauer sur la théorie des couleurs, dont l'importance biographique n'est guère diminuée par l'unanimité avec laquelle la science moderne les a rejetées.

E. J. Dijksterhuis.

R. Savioz, *La philosophie de Charles Bonnet de Genève*, Paris, Vrin, 1948, 393 p. — *Mémoires autobiographiques de Charles Bonnet de Genève*. Bibliothèque des Textes philosophiques, Paris, Vrin, 1948, 414 p.

Tous ceux qu'intéresse la fameuse querelle entre épigénétistes et préformistes qui mit aux prises les naturalistes du xviiie liront avec intérêt les deux ouvrages que M. Savioz a consacrés au célèbre savant genevois qui exerça une grande influence partout en Hollande, au Danemark, en Suisse et en France (Daniel Mornet a relevé que sur 58 auteurs de langue française dont les noms reviennent fréquemment dans les bibliothèques privées du xviiie celui de Bonnet occupe le 13e rang).

Les sociologues trouveront matière à réflexion, entre autres dans le passage suivant : « Jamais le peuple ne parviendra à saisir tout ce que le mot si métaphysique de *liberté* enveloppe » (*Mém.*, p. 32).

Les pédagogues verront en lui un précuseur : Ne bourrons pas les enfants

d'Eléments, d'*Introductions indigestes*, ne les lassons pas en les tenant sur les mêmes sujets, mais reposons-les par des programmes variés. Enfin illustrons toujours la théorie d'exemples concrets !

Chacun sera ému par ce bel exemple d'abnégation devant la science : surmontant les ennuis causés par une demi-surdité, une carie dentaire généralisée, une vue faible, Charles Bonnet n'hésite pas à user de la loupe et du microscope dans ses expériences qu'il renouvelle avec une conscience et une minutie exemplaires au point de devenir presque aveugle. Et au milieu de tous malheurs, dont le pire fut certainement un espoir de paternité à jamais anéanti dans un accident assez grave que subit Mme Bonnet, le savant palingénétiste genevois garde une sérénité admirable.

C'est pourquoi chacun souscrira au jugement de M. Lalande qui a honoré *La philosophie de Charles Bonnet de Genève* d'une notice : « Nous devons savoir gré bien vivement à M. Raymond Savioz d'avoir élevé ce monument à la mémoire d'un homme passionné pour la science, pour la vérité, pour la dignité humaine, et qui fut un grand Européen. »

Antoinette Virieux.

Jean Filliozat, *La doctrine classique de la médecine indienne. Ses origines et ses parallèles grecs*, Imprimerie Nationale, Paris, 1949, 1 vol. in-8°, 230 p.

Jean Filliozat, directeur d'études à l'École Pratique des Hautes Études, bien connu pour ses travaux sur l'Inde ancienne, tels que son article sur la médecine dans le *Traité général d'histoire de la médecine* de Laignel-Lavastine et son récent chapitre sur l'histoire de l'Inde classique, des origines au VIIe siècle dans le *Manuel des Études indiennes* de Louis Renou, a d'après les documents de première main, étudiés dans leur texte, donné un excellent résumé de la médecine classique indienne contenue dans l'*Ayurvéda*. Il expose d'abord les doctrines essentielles des textes ayourvédiques et rappelle la tradition des textes de Suçruta et Caraka.

Il insiste ensuite sur les données médicales pré-aryennes et indo-iraniennes, particulièrement sur la triple conception des eaux, du feu et du vent.

Il montre comment les données des samhitâ védiques ont eu leur retentissement sur la pathologie. Les *Samhitâ*, qui sont des recueils d'hymnes, de chants liturgiques, de morceaux rituels ou magiques, ne se prêtent aucunement à l'exposé descriptif des rudiments qu'on pouvait alors posséder sur l'anatomie, la physiologie et la pathologie. Les allusions qu'on rencontre dans la couche plus récente de la littérature védique, dans la couche essentiellement brahmanique, celle des *Brâhmana* et des *Upanisad* sont plus significatives de l'état contemporain de la science. Là les spéculations cosmo-physiologiques sont souvent exposées d'une façon qui, pour n'être guère systématique, permet du moins de s'en faire une idée. Mais les indications de Samhitâ n'en sont pas moins précieuses par leur ancienneté. C'est pourquoi d'après elles Filliozat donne une nomenclature anatomique et des clartés relativement assez sombres sur la physiologie et la pathologie.

La nomenclature anatomique, plus allusive et symbolique que descriptive, emploie souvent d'une part le même mot pour désigner des parties différentes et d'autre part des mots différents pour désigner la même partie envisagée sous un autre angle. C'est un peu analogue à ce que l'on trouve dans les nomenclatures

botaniques de l'Inde, comme l'a montré mon regretté confrère de Pondichéry, le Dr Mariadassou.

Les phrases des Samhitâ védiques faisant allusion à la pathologie et relevées par Filliozat permettent de se faire une idée des conceptions médicales de l'époque sur le rôle médical des divinités, les rapports du péché et de la maladie, les imprégnations morbides profondes, les fièvres, diverses maladies et quelques phénomènes morbides isolés, le rôle des démons dans l'avortement et les procédés thérapeutiques.

Plus que cette étude intérieure de l'Ayurvéda est captivant dans le livre de Filliozat l'exposé des relations de pensée entre l'Inde et la Grèce avant la conquête d'Alexandre.

Il rapproche d'abord la théorie ayourvédique du vent et le pneumatisme grec.

Il fait ensuite une analyse exhaustive du *Timée* relativement à la médecine indienne.

Platon dans le Timée admet 3 classes de maladies. Les premières sont dues aux altérations des 4 éléments constitutifs du corps comme de l'univers : terre, feu, eau et air. Les deuxièmes relèvent des humeurs produites par les éléments et qui sont susceptibles de corruption. La 3e classe comprend les maladies dues au pneuma, à la pituite (φλέγμα) et à la bile (χολή). C'est cette classe qui s'accorde avec la doctrine indienne classique.

La théorie de la pituite chez Platon est assez analogue à celle du çlesman chez les médecins indiens.

Sur la nature « chaude et liquide » de la bile Platon s'accorde pleinement avec la vieille idée védique de la nature ignée de la bile, idée dont a hérité la médecine ayourvédique.

L'explication de certaines maladies par l'irruption de la bile dans le sang est encore commune à Platon et aux médecins indiens qui appellent cet accident raktapitta (sang-bile) et lui rapportent l'origine des hémorragies spontanées.

Il faut encore compter au nombre des concordances des idées de Platon avec celles de l'Inde sa croyance à la métempsychose et sa théorie de la vision.

Aujourd'hui les concordances du *Timée* avec les doctrines indiennes nous apparaissent plus saisissables qu'autrefois parce que ces doctrines indiennes nous sont plus accessibles. Elles furent fixées en systèmes entre le VIIIe siècle et la fin du IVe. Or Platon a vécu de 427 à 347 et le *Timée* appartient à la fin de sa vie. De son côté le traité hippocratique des Vents, dont le Pneumatisme est comparable à celui de l'Inde, appartient à un temps assez voisin de celui de Platon et en tout cas à une époque antérieure à Aristote et à Alexandre.

Les communications de la Grèce et de l'Inde avant Alexandre furent facilitées par l'extension de l'empire perse depuis la mort de Cyrus en 528 jusqu'à la conquête d'Alexandre en 331.

Ainsi l'empire des Achéménides a jeté un pont de culture mésopotamienne entre l'Inde, l'Égypte et la Grèce. Il a créé l'unité politique au-dessus des races et des religions. C'est la gloire de Darius d'avoir toléré les croyances de ses sujets. Cette tolérance a favorisé l'éclosion et l'échange de la pensée. Thalès et Anaximandre florissaient au temps où Crésus soumit l'Ionie. L'Inde n'était pas inconnue à Milet.

Dans le *Traité des maladies des femmes* considéré comme cnidien est une formule indienne de dentifrice.

De même dans le traité *De la nature de la femme* est cité le pippali, poivre long qui dans la médecine classique indienne entrait dans la composition de collyres.

En conclusion, dit Filliozat, nous voyons que les voies certaines et les intermédiaires, Grecs au service des Perses, fonctionnaires des Achéménides qui dominaient à la fois sur des terres grecques et indiennes, Indiens même peut-être, n'ont point manqué pour assurer des communications scientifiques entre l'Inde et la Grèce dès avant Alexandre. Sans doute ils n'ont pas suffi à faire largement connaître l'Inde au public grec, pas plus que la Grèce au public indien, mais ils ont pu aisément transporter des notions sur lesquelles les esprits de part et d'autre, par émulation consciente ou non, ont travaillé. C'est ce qui explique que nous puissions trouver entre la médecine indienne et la médecine grecque des similitudes trop particulières et trop précises pour qu'il soit facile de les attribuer au hasard et que nous rencontrions dans la Grèce et dans l'Inde tant de spéculations analogues aux mêmes moments ; si les deux mondes, tout en ne se connaissant que d'une façon vague, ont égalisé les niveaux de leur science, c'est qu'en sous-œuvre, ils communiquaient.

Ainsi ce livre de Filliozat dépasse l'intérêt d'une étude médicale indienne jusqu'à s'élever à la valeur d'un moment d'histoire des sciences au-dessus des civilisations.

M. Laignel-Lavastine.

Henri Grégoire, avec la collaboration de R. Goossens et de M. Mathieu, *Asklépios, Apollon Sminlheus et Rudra*, Études sur le dieu à la taupe et le dieu au rat dans la Grèce et dans l'Inde. Bruxelles, 1950, in-8°, 204 p.

Qu'était au juste Esculape ? Un dieu déchu, puis réinstauré sans sa dignité, un héros, un homme divinisé, comme Imhotep, le dieu-médecin des Égyptiens ? La question a été fort discutée, et intéresse l'histoire des origines de la médecine. M. H. Grégoire propose ici de son nom une étymologie inédite : 'Ασκαλαπιός dériverait des formes σκάλοψ, 'ασπάλαξ, qui désignent la taupe, et Esculape serait le héros-taupe. A l'appui viennent un grand nombre de rapprochements ingénieux, suggestifs, inégalement probants, mais dont l'ensemble ne laisse pas d'être impressionnant par l'ensemble des faits qu'il rassemble de façon souvent inattendue. On n'en signalera ici que quelques-uns : l'analogie relevée entre le plan de la mystérieuse « tholos » d'Épidaure et la structure des galeries d'une taupinière ; les souris, votives, aux yeux bandés, ou éventrées, trouvées par M. W. Vollgraff à Larissa d'Argos ; l'épiclèse d'Apollon chère à Chénier : Sminthée, qui fait de lui un dieu « à la souris » ; l'omphalos, qui serait une taupinière ; Rudra, le dieu guérisseur hindou, qui est aussi un dieu à la taupe ; et les offrandes des Philistins, mentionnées dans le livre de Samuel, I, 5 et 6... Particulièrement intéressantes sont les pages sur l'importance qu'ont, dans la médecine populaire et magique de l'antiquité comme dans le folklore universel, la taupe et la « main taupée ». Ainsi, des trois types de traitement que le centaure Chiron enseigna à Esculape d'après Pindare (IIIe Pythique) : charmes, remèdes et incisions, c'est à une forme du premier que le dieu des médecins devrait son nom. Il apparaît ainsi plus proche de son demi-frère, Trophonios, l'oracle chthonien de Lébadée.

P.-M. Schuhl.

NGUYÊN-BÍNH, *Un maître et un ami de Farabeuf : Marcellin Duval*, 1807-1899, in-8°, 188 p., 5 pl., fig., Hanoï, Impr. G. Taupin, 1938. Thèse de l'École de Médecine de Hanoï.

Étude estimable dont l'intérêt est accru par des documents inédits qu'a su utiliser l'auteur, et qui lui ont été communiqués par M. Hamet, directeur du Service de Santé de la IIIe Région maritime et par M. P. Huard, professeur à l'École de Médecine de Hanoï.

D'une famille de marins bretons, fils d'un chirurgien de la Marine, Marcellin-Jean-Charles Duval se fit inscrire à l'École de Médecine navale de Brest en 1823. Après trois années d'études et treize années de navigation au cours desquelles, entre deux campagnes, il s'était fait recevoir docteur en médecine, à Montpellier, il revint à Brest en 1839, et fut chargé de l'enseignement de la chimie médicale. Se sentant une vocation différente, il concourut pour une place de chirurgien et, à partir de 1841, enseigna l'anatomie et la chirurgie, soit à Brest, soit à Cherbourg, soit à Toulon. A Toulon il cumulait son enseignement avec les fonctions de directeur du Service de Santé. En 1866, un règlement attribua d'office aux directeurs, le cours de médecine légale et de médecine administrative. Ce n'était point pour plaire à ce fervent du bistouri qui, du coup, préféra prendre une retraite anticipée.

Il se rendit à Paris et y poursuivit ses travaux d'anatomie et de médecine opératoire, les amphithéâtres parisiens lui étant largement ouverts. Puis ce fut le retour à Brest. On raconte que jusqu'à la fin de sa longue vie, alors que l'âge et les infirmités le confinaient dans sa chambre, il continua à disséquer chez lui ; « la pièce anatomique était disposée sur un plateau de zinc agencé de telle sorte qu'on pouvait l'installer sur le lit ou sur les genoux dans un fauteuil ».

Mais ce « pair de l'anatomie », le mot est de Farabeuf, demandait avant tout à cette science, d'éclairer la clinique et voyait dans une connaissance approfondie des parties du corps, une des conditions primordiales d'une bonne chirurgie. Cela ressort du titre même de son *Atlas général d'anatomie descriptive et de médecine opératoire avec des considérations relatives à la pathologie interne et à la pathologie externe*, dont il mit sept ans à lithographier les 986 figures.

Les travaux de Marcellin Duval ont porté principalement sur les ligatures d'artères, ainsi que sur les amputations et désarticulations des membres. De ses méthodes, on trouvera ici une étude consciencieuse ainsi qu'une description des instruments et appareils imaginés par lui. En 1938, une partie de ces derniers était conservée en quelques spécimens au Musée anatomique de l'École préparatoire de Brest ; ont-ils survécu à la dernière guerre ?

Les deux premières planches hors texte, nous font connaître la physionomie de Duval, à 30 ans, puis à 90 ans. Les suivantes reproduisent en fac-similé une longue lettre de Farabeuf dont on retrouvera le texte avec d'autres lettres du même dans les pièces annexes par lesquelles se termine cette thèse.

Ernest WICKERSHEIMER.

Arnauld DE CORBIE, *La vie ardente de Laënnec*, in-16, 187 p., couverture illustrée, Paris, Éditions Spes, 1950.

Ce petit volume est l'œuvre posthume d'un écrivain enlevé trop tôt à l'affection de ses amis et aux belles-lettres, et qui, par deux fois, s'était déjà essayé, avec

succès, dans la biographie romancée en donnant coup sur coup une vie de Jean Bart et une vie de saint Vincent de Paul.

Car c'est bien d'une vie romancée qu'il s'agit, et je tiens à avertir quiconque désirerait mieux connaître Laënnec, que s'il a à sa portée la thèse de Henri Saintignon (1904) et les deux volumes d'Alfred Rouxeau, *L'enfance et la jeunesse d'un grand homme*, *Laënnec avant 1806* (1912) et *Laënnec après 1806* (1920), c'est en vain qu'il cherchera une seule ligne susceptible de le renseigner utilement sur la personne et sur l'œuvre du père de l'auscultation dans le livre d'Arnauld de Corbie.

Celui-ci contient-il beaucoup d'inexactitudes ? En voici une que je crois devoir relever. A maintes reprises, il est question de Bayle, l'auteur des *Recherches sur la phtisie pulmonaire*, le condisciple et probablement le meilleur ami de Laënnec. Bayle avait reçu au baptême les noms de Gaspard-Laurent. Or, ici il est gratifié de celui de Pierre, emprunté à son homonyme, le philosophe du XVIIe siècle.

La vie ardente de Laënnec a été inspirée par un film de Maurice Cloche, et c'est bien à la façon d'un scénario cinématographique que se déroulent ses 12 épisodes. Dans le premier chapitre, « Une jeune fille sur le pavé de Paris », on nous montre Marie-Anne Laënnec, venue dans la capitale rejoindre son frère, débarquer rue Saint-Denis, tout comme Manon Lescaut était descendue à Amiens du coche d'Arras, à ceci près que Marie-Anne était une honnête fille et qu'elle l'est restée.

Au surplus, le récit est d'une lecture agréable. Il ne faut pas lui demander ce que l'auteur n'avait sans doute pas l'intention d'y mettre.

Ernest Wickersheimer.

Archives internationales d'Histoire des Sciences, publication trimestrielle de l'Union internationale d'Histoire des Sciences, t. IV (nos 14 à 17), 1951.

Ce tome IV des *Archives internationales d'Histoire des Sciences* forme un volume de 1.192 pages. Il contient un très riche ensemble d'articles originaux dont voici la table analytique :

ARTICLES D'INTÉRÊT GÉNÉRAL

A. Cortesao : Science and Development of Culture.
A. C. Crombie : The notion of Species in Medieval Philosophy and Science.
J. Pelseneer : Pour des archives cinématographiques des sciences.
J. Pelseneer et J. Putman : L'histoire des sciences, l'Université et les influences.
D. J. Price : Quantitative measures of the development of science.
A. Reymond : Brèves remarques sur *Influences et précurseurs*.
G. Sarton : Acta atque Agenda.
R. H. Shryock : Training Historians of Sciences in the United States.
Lynn Thorndike : The cursus philosophicus before Descartes.
S. Yajima : History of Science in Japan.
W. Yourgrau : Collegium naturalis philosophiae. M. Schlick's Philosophy of Nature.

MATHÉMATIQUES

G. Bouligand : A propos de l'Analyse géométrique.
E. J. Dijksterhuis : Deux traductions de Proclus.

A. Frajese : Sur la signification des postulats euclidiens.
H. Freudenthal : La première rencontre entre les mathématiques et les sciences sociales.
J. Pelseneer : Une lettre inédite de Cauchy.
R. Taton : Documents nouveaux concernant Desargues.

MÉCANIQUE ET ASTRONOMIE

A. Koyré : La gravitation universelle, de Kepler à Newton.
J. M. Millas-Vallicrosa : La transmision del Almanaque desde Oriente à Occidente.
G. Findlay Shirras : Newton. A study of a master mind.
W. E. Van Wijk : Un comput de la fin du XIIe siècle.

PHYSIQUE

P. Humbert : Les études de Peiresc sur la vision.
J. A. Vollgraff : Deux lettres de Christiaan Huygens.

CHIMIE

H. Guerlac : The continental reputation of Stephen Hales.
J. Read : W. Davidson, first professor of chemistry at the Jardin du Roy (1648).
H. E. Stapleton : The antiquity of alchemy.

BIOLOGIE

F. S. Bodenheimer : The Biology of Abraham ben David Halevy of Toledo.
J. Dankmeijer : Les travaux biologiques de René Descartes.
S. L. Hora : Zoological knowledge, with special reference to Fish and Fisheries In India before 225 B. C.
G. P. Majumdar : The History of Botany and allied Sciences in ancient India.
J. Rostand : Les expériences de l'abbé Spallanzani sur la génération animale (1765-1780).
W. H. Schopfer : La culture des plantes en milieu synthétique. Les précurseurs.
F. Verdoorn : Problems of Botanical Historiography.

MÉDECINE

B. Dujardin : Dix lettres ou documents inédits de Pasteur.
Duong Ba Banh : La médecine traditionnelle du Viet-Nam au contact de la médecine européenne.
F. Jonckheere : La place du Prêtre de Sekhmet dans le corps médical de l'ancienne Égypte.
M. Laignel-Lavastine : Le rôle de l'hérésie de Nestorius dans les relations entre l'Orient et l'Occident.
J. J. Van Loghem : Essed's Theory of the Great Pox Epidemic in Europe.
E. Wickersheimer : Organisation et législation sanitaires au Royaume franc de Jérusalem (1099-1291).

GÉOGRAPHIE

R. Almagia : Vincenzo Coronelli.
G. de Reparaz : Les précurseurs de la cartographie terrestre.

TECHNIQUES

H. W. DICKINSON and A. A. GOMME : Some British contributors to continental Technology (1600-1850).

F. G. SKINNER : European Weights and Measures derived from ancient Standards of the Middle East.

En plus de ces articles très variés, le tome IV des *Archives internationales d'Histoire des Sciences* contient 246 comptes rendus critiques, 51 analyses de revues spécialisées, divers textes officiels relatifs à l'Académie et à l'Union internationales d'Histoire des Sciences, une très riche documentation sur les activités des différents pays dans le domaine de l'histoire des sciences, ainsi que des notices nécrologiques sur E. Bortolotti, P. Brunet, R. Fueter, R. Koch, E. Lynam, Y. Mikami, J. J. G. Tricot-Royer et E. Garcia de Zuniga.

Signalons encore que des tables alphabétique et analytique des matières et un index des noms de personnes permettent d'utiliser avec commodité ce nouveau tome des *Archives internationales d'Histoire des Sciences.*

René TATON.

CHYMIA, *Annual Studies in the History of Chemistry*, t. 3, 1950.

Au sommaire de cette revue on relève les articles suivants :

H. M. LEICESTER and H. S. KLICHSTEIN, *Teuney Lombard Davis and the History of Chemistry ; The beginning of Chemical Instruction in America ;* I. B. COHEN, *A brief Account of the Teaching of Chemistry at Harward Prior to* 1800 ; M. DAUMAS, *Les appareils d'expérimentation de Lavoisier ;* E. FARBER, *Bio-Active Substances in the Nineteeth Century ;* C. E. PRELAT and A. G. VELARDE ; *La Quimica en los « Éléments de chimie » de Orfila ;* W. MILES, *Early American Chemical Societies* : 1) *The* 1789 *Chemical Society of Philadelphia ;* 2) *The Chemical Society of Philadelphia ;* R. HIRSCH, *The invention of Printing and the Diffusion of Alchemical and Chemical Knowledge ;* W. GANZENMULLER, *Wandlungen in der geschischtlichen Betrachtung der Alchemie ;* G. SARTON, *Boyle et Bayle. The Sceptical Chemist and the Sceptical Historian ;* J. MARK SCOTT, *Karl Friedrich Mohr*, 1806-1879 : *Father of Volumetric Analytis ;* R. E. OESPER and P. LEMAY, *Henri Sainte-Claire Deville*, 1818-1881 *;* H. RHEINBOLDT, *Bunsens Vorlesung über allgemeine Experimental-chemie ;* C. K. DEISEHER and J. L. RABINOWITZ, *The Owl of Heinrich Khunrath. Its Origin and Signifiance.*

J.-P. ARON.

Le gérant : P.-J. ANGOULVENT.

1952. — Imprimerie des Presses Universitaires de France. — Vendôme (France)
ÉDIT. N° 23.077 Dépôt légal : 2-1952 IMP. N° 12.880

1952. — Imp. des Presses Universitaires de France, Vendôme (France)